

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Návrh a posouzení způsobu založení mostních objektů na stavbě komunikace ve Varšavě

Design and assessment of the bridge foundation at the road construction site in Warsaw

Student:

Bc. Ondřej Kabelka

Vedoucí diplomové práce:

doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ondřej Kabelka**
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607T035 Geotechnika
Téma: **Návrh a posouzení způsobu založení mostních objektů na stavbě komunikace ve Varšavě**
Design and Assessment of the Bridge Foundation at the Road Construction Site in Warsaw
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Geologická a hydrogeologická situace předmětné lokality, konstrukční specifikace
3. Posouzení stávajícího návrhu základové patky mostního pilíře, modelový výpočet
4. Variantní návrh základové patky, včetně modelové analýzy variantního návrhu
5. Závěrečná analýza, porovnání výsledků, formulace doporučení

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Hulla, J., Turček, P. *Zakladanie stavieb*. Jaga: Bratislava, 1998. ISBN 80-88905-05-2.
2. Masopust, J. *Navrhování základových a pažicích konstrukcí, Příručka k ČSN EN 1997*. Informační centrum ČKAIT, Praha, 2012. ISBN 978-80-87438-31-2.
3. Podkladové materiály firmy Metrostav
4. Coduto, D. *Geotechnical Engineering*. Prentice Hall: New Jersey, 1999. ISBN 0-13-576380-0.
5. Smolczyk, U. *Geotechnical Engineering Handbook*. Wiley, 2003. ISBN 3-433-01450-7.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.**

Datum zadání: 27.02.2015
Datum odevzdání: 30.11.2015

doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

Anotace

Cílem diplomové práce je navrhnout a posoudit způsob založení mostního objektu na stavbě komunikace ve Varšavě. Práce se zabývá popisem předmětné lokality, její geologickou a hydrogeologickou situací a konstrukční specifikací návrhu založení. V práci jsou uvedeny dva varianty návrhu založení mostní konstrukce včetně modelové analýzy. Variantní návrhy jsou zpracovány pro ověření pravdivosti vztahů u stávajícího řešení. Závěr práce popisuje porovnání výsledků a uvádí komentář.

Abstract

The aim of this thesis is to propose and assess method of foundation of the bridge on the construction of road in Warsaw. Thesis deals with the description of the subject site and the geological and hydrogeological situation and structural design of foundation. The paper presents two variants of the design of foundation the bridge, including the model analysis. Alternative proposals are processed to verify the truthfulness of relationships with existing solutions. The conclusion of the work describes the results of the comparison and provides comment.

Klíčová slova

Geotechnika, zakládání na pilotách, CFA piloty, FRANKI piloty, silniční most

Keywords

Geotechnical engineering, pile foundation, CFA piles, FRANKI piles, road bridge

Obsah

Seznam použitého značení	8
1 Úvod	9
2 Geologická a hydrogeologická situace předmětné lokality, konstrukční specifikace. 12	
2.1 Konstrukční specifikace	12
2.2 Postup výstavby	14
2.3 Geologická situace	16
2.4 Hydrogeologická situace	19
2.5 Použité technologie	21
2.6 Problémy při realizaci	25
3 Posouzení stávajícího návrhu základové patky mostního pilíře, modelový výpočet.. 27	
3.1 Popis modelového výpočtu	28
3.2 Vstupní data modelového výpočtu	30
3.3 Výsledky modelového výpočtu	35
4 Variantní návrh základové patky, včetně modelové analýzy variantního návrhu 48	
4.1 Popis a vstupní data prvního variantního návrhu	48
4.2 Výsledky prvního variantního návrhu	48
4.1 Popis a vstupní data druhého variantního návrhu	50
4.2 Výsledky druhého variantního návrhu	50
5 Závěr	53
5.1 Porovnání výsledků	54
5.2 Doporučení	55
6 Seznam použité literatury	57
7 Seznam obrázků	60
8 Seznam tabulek	61
10 Seznam grafů	62
11 Seznam vzorců	63

Seznam použitého značení

CPT	– Statická penetrační zkouška
CPTU	– Statická penetrační zkouška s měřením pórového tlaku
PMT	– Presiometrická zkouška
SPT	– Standardní penetrační zkouška
FVT	– Terénní vrtulová zkouška
DMT	– Zkouška plochým lisem
PDA	– Pile driving analysis
m	– metr
CFA	– Continuous flying auger (Metoda vrtání pilot průběžným šnekem)
°	– úhlový stupeň
I _L	– index tekutosti
I _D	– index relativní ulehlosti
GV	– geologický vrt
SVOČ	– Studentská vědecká odborná činnost
c _u	– soudržnost zeminy
m ³	– metr kubický
%	– procenta
l	– litr
min	– minuta
l/min	– litr za minutu
kN	– kilonewton
mm	– milimetr
kNm	– kilonewtonmetr
kN/m	– kilonewton na metr
MPa	– megapascal
ks	– kus

“I produced my theories and made my experiments for the purpose of establishing an aid in forming a correct opinion and I realized with dismay that they are still considered by the majority as a substitute for common sense and experience.”

„Vytvářel jsem své teorie a dělal pokusy, abych mohl podpořit své myšlenky. S hrůzou jsem si uvědomil, že jsou stále považovány většinou jako náhrada za zdravý rozum a zkušenosti.“

Karl von Terzaghi

1 Úvod

V dnešní době se můžeme setkat se zakládáním stavebních objektů v lokalitách, které dříve nepřípadaly pro svou náročnost v úvahu nebo stále častěji s rekonstrukcemi konstrukcí vybudovaných v průběhu 20. století. Zakládání staveb na pilotách je u náročných konstrukcí, jakou konstrukce mostu zcela jistě je, běžným jevem. Tento fakt je stále více potvrzován v současné době při realizaci náročných stavebních celků. V rámci České republiky se můžeme s výraznějším použitím v setkat u výstavby pražského sídliště Prosek, kde bylo pilotové založení navrženo z důvodu obavy před účinky starého poddolování. [1] [2] [3]

Při provádění posudků pilotových základů je důležité uvědomovat si některé skutečnosti. Geotechnika jako vědní obor popisuje vztahy mezi základovými konstrukcemi a základovou půdou v okolí. Spojuje v sobě poznatky z geologie, hydrogeologie, mechaniky zemin a hornin a zakládání staveb. Propojením poznatků z těchto oborů vzniká popis fungování zeminového prostředí jako dalšího stavebního prvku. Všechny geotechnické teorie, včetně oblasti zakládání staveb, obsahují okrajové podmínky, za kterých jsou tyto teorie platné.

Na území České republiky je provádění pilot včetně posuzování únosnosti řízeno normativními předpisy ČSN EN 1997-1 a ČSN EN 1997-2. Tyto předpisy také definují teorie fungování pilot včetně jejich okrajových podmínek.

První z výše uvedených předpisů uvádí jako možné způsoby posouzení únosnosti základové půdy v tlaku tyto možnosti: [4]

- Mezní únosnost v tlaku ze statických zatěžovacích zkoušek
- Mezní únosnost v tlaku z výsledků zkoušek základové půdy
- Mezní únosnost v tlaku z rázových dynamických zkoušek

- Mezní únosnost v tlaku ze vzorce pro beraněné piloty
- Mezní únosnost v tlaku z analýzy vlnové rovnice

Norma ČSN EN 1997-2 dále uvádí tyto konkrétní terénní zkoušky zemin a skalních hornin. Níže jsou uvedeny všechny, u kterých norma hovoří o využití pro vyhodnocení únosnosti pilot, včetně jejich podmínek a komentářů. [5]

Statická penetrační zkouška a penetrační zkouška s měřením pórového tlaku (CPT, CPTU). *V případě, že je celková tlaková či tahová únosnost pilot odvozena z výsledků CPT dle výše uvedené normy, je nutné použít pravidla výpočtu založená na místně podložené korelaci mezi výsledky statických zatěžovacích zkoušek a výsledky CPT.* [5]

Presiometrické zkoušky (PMT). *Mezní únosnost pilot v tlaku lze odvodit přímo ze zkoušek s řízeným napětím. Pokud je únosnost piloty v tlaku či tahu odvozena nepřímou z výsledků presiometrické zkoušky, lze aplikovat analytickou metodu pro odvození hodnot únosnosti v patě a na plášti, ale pouze na základě místní zkušenosti.* [5]

Standardní penetrační zkouška (SPT). *V případě, že mezní tlaková či tahová únosnost pilot je odvozena z výsledků SPT dle výše uvedené normy, musí být použita výpočtová pravidla založená na místně stanovených korelacích mezi výsledky statické zatěžovací zkoušky a výsledky SPT.* [5]

Terénní vrtulová zkouška (FVT). *Pokud je na základě výsledků FVT odvozena mezní tlaková či tahová únosnost pilot musí být použita analytická návrhová metoda.* [5]

Zkouška plochým lisem (DMT). *V případě, že mezní tlaková či tahová únosnost je odvozena z výsledků DMT, musí být pro odvození únosnosti paty a plášťového tření použita analytická výpočetní metoda.* [5]

Jak můžeme vidět z výše uvedeného seznamu, všechny aplikovatelné zkoušky mají své okrajové podmínky, jejichž nedodržení může vést k lichým závěrům.

Teorie popisující fungování pilotového základu jsou omezeny definicí stanovení únosnosti pilot, které se podle přístupu k posouzení liší. Lze se setkat s posouzením únosnosti vrtaných pilot výpočtem na základě 1. skupiny mezního stavu, které využívá návrhových velikostí stabilitních parametrů jednotlivých vrstev základové půdy stanovených dle zásah ČSN EN 1997-1 z velikostí charakteristických pomocí dílčích součinitelů spolehlivosti základové půdy

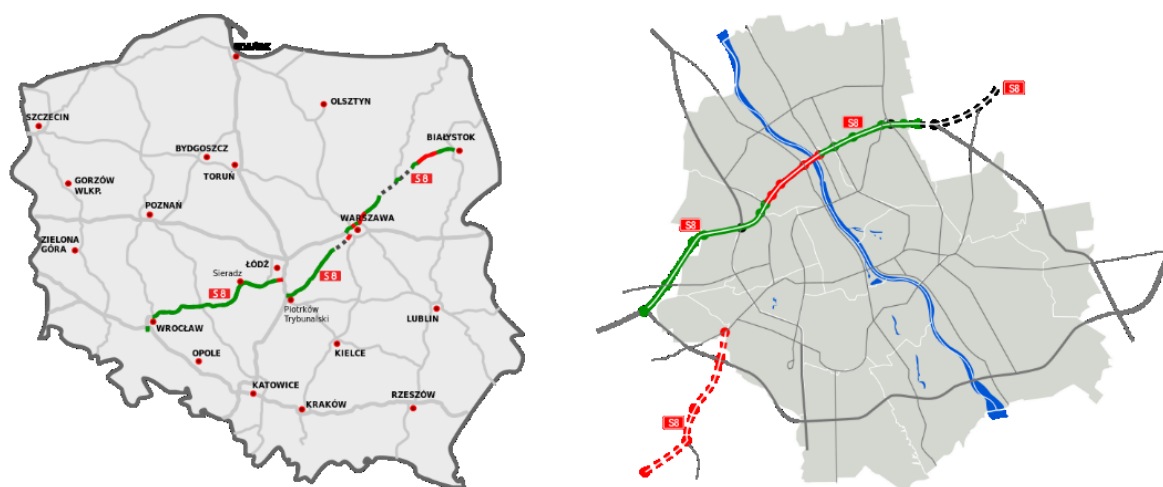
γ_m . Dalším přístupem je posouzení únosnosti výpočtem na základě 2. skupiny mezního stavu. Tento přístup bývá aplikován nejen u pilot opřených o nestlačitelné podloží, za takového podloží se považují skalní horniny třídy R1 a R2, ale také u pilot zahloubených do stlačitelného podloží. Zde se jedná o zeminy a poloskalní horniny. Další možností jak přistupovat k posouzení pilot je např. u ražených pilot pomocí monitorování razící energie. Jako vhodná se osvědčila metoda monitoringu PDA, která umožňuje společně s optimalizací ražby pilot také stanovit její únosnost. Únosnost pilot FRANKI, jak je uvedeno v této práci, lze stanovit z energetického diagramu provádění. [1] [6]

Použití přístupu k posouzení únosnosti pilot se liší také podle zatížení pilot, např. v případě pilot, které kromě osového zatížení přenášení také vodorovné síly a ohybové momenty. Zvláštním a komplikovaným případem je tzv. skupina pilot. Jde o více pilot uspořádaných do skupiny, které tvoří jeden statický celek. Takto umístěné piloty bývají například ještě spojeny v úrovni hlav pilot základovou deskou či patkou. Toto řešení bývá v dnešní době užíváno stále více. Tento stav je vyvolán potřebou výstavby v místech, které nebyly v minulosti pro výstavbu vhodné nebo náročností budovaných konstrukcí. Posouzení těchto konstrukcí se v dnešní době provádí pomocí prostorových modelů. [1] [6]

Tato práce řeší posouzení způsobu založení mostních objektů. Klade si za cíl vyhodnotit současný návrh, podle kterého byla stavba realizována a s ohledem na výsledky tohoto posouzení navrhnout další variantní návrhy včetně jejich posouzení.

2 Geologická a hydrogeologická situace předmětné lokality, konstrukční specifikace

Záměrem práce je posouzení způsobu založení mostního objektu, který je součástí stavby modernizace dopravního spojení ve Varšavě. Práce se vztahuje na patku č. 5 jižního (levého) mostu. Řešený most je součástí dopravního uzlu v blízkosti mostu generála Stefana Grota Roweckiego, který je součástí rychlostní silnice S-8 vedoucí z Vratislavi do Białystoku (viz obrázek č.1). V rámci Varšavy je rychlostí silnice S-8 součástí ulice Aleja Armii Krajowej (Národní armády), která spojuje dvě významné komunikace – Modlińskou ulici v severní části města a Wybrzeże Gdyńskie (Gdyňské nábřeží) v jižní části města. Trasa mostu překonává překážky, kterými jsou ul. Gwiaździsta, parkoviště a rekreační areál u starého říčního koryta řeky Visly – Łacha Potocka. [7] [8]



Obrázek č.1 - Situace rychlostní silnice S-8 a detail silnice S-8 ve Varšavě [9]

2.1 Konstrukční specifikace

Vrchní část mostu je tvořena samostatnými mostovkami pro oba směry. Mostovky jsou staticky řešeny jako spojitý nosník o šesti polích. Mostovka je vytvořena z prefabrikovaných dílců typu KUJAN NG18. Krajiní podpory mostu jsou nově vybudované konstrukce v odlišné pozici od původního ukončení mostu a tvoří na obou stranách předmostí. Základy podpor jsou uloženy na základové patce o tl. 1,20 m a šířce 4,50 m z betonu B35 (C30/37). Tyto patky jsou opřeny o hlavy nově vybudovaných CFA pilot z betonu B30 (C25/30) o průměru 0,60 m a v případě některých patek také o hlavy původních pilot typu FRANKI o průměru 0,52 m. Základové patky jsou odděleny pro každý jízdný směr pomocí dilatací o šířce 0,50 m.

Technická specifikace mostu: [7]

Délka konstrukce mostu: 128,90 m

Rozpětí podpor: 18,00 + 4x23,00 + 18,00 m

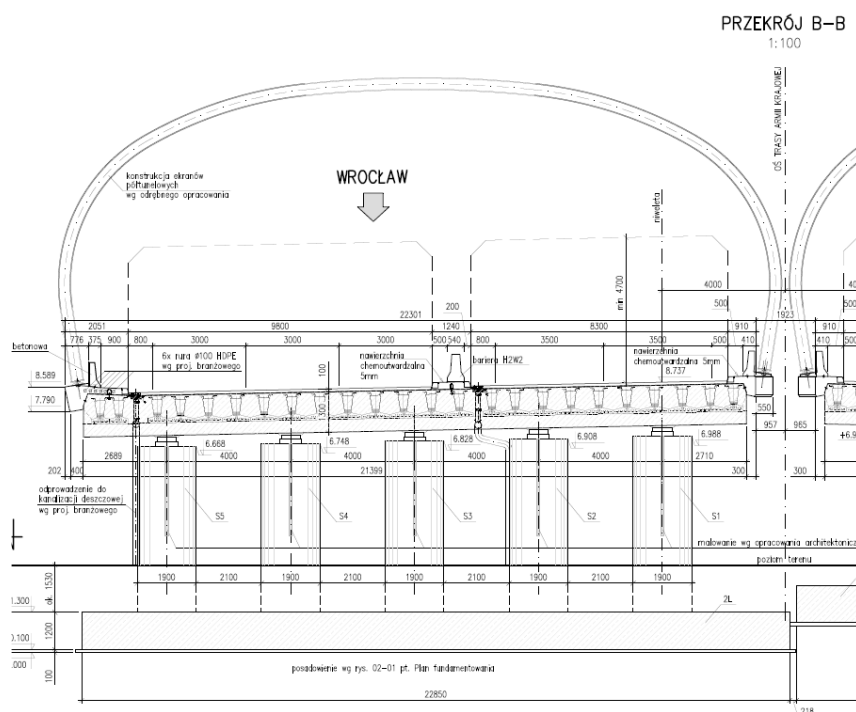
Šířka levé mostovky: 19,30 – 25,50 m

Šířka pravé mostovky: 22,30 – 51,65 m

Celková šířka mostu: 43,70 – 51,65 m

Vzepětí: min. 4,60 m

Úhel: 90°



Obrázek č.2 - Příčný řez mostní konstrukcí [10]

Jak je uvedeno výše most se skládá ze dvou samostatných mostovek které jsou uspořádány pro 2 jízdní pruhy. Jejich šířka je 3,50 m, levá mostovka umožňuje provoz v dalších třech až čtyřech a pravá v dalších dvou až čtyřech jízdních pruzích o šířce 3,00 m. Tyto přídatné pruhy jsou odděleny betonovými svodidly a mohou tak být používány pro usměrnění dopravy. Na mostovkách jsou instalovány protihlukové tunely, viz obrázek č.2 a č.3. [7] [10]



Obrázek č.3 - Protihlukový tunel [10]

2.2 Postup výstavby

Z hlediska provádění staveb se jedná o rekonstrukci. Vzhledem k faktu, že rekonstruovaný most je součástí důležité dopravní tepny ve Varšavě, byla realizace rozdělena do dvou etap. V první etapě byl zrekonstruován levý (jižní) most včetně sjezdů a nájezdů. Současně na pravém (severním) mostě byla vedena doprava. Po dokončení prací na levém mostě se doprava přesměrovala na hotovou část, což umožnilo zahájit práce na pravém mostě. [8] [10]

Při návrhu založení byl proveden archivní průzkum se zaměřením na původní řešení založení mostu. V dokumentaci nalezené v archivech, nebyl žádný přesvědčivý doklad o délce FRANKI pilot. Délka pilot se tak musela ověřit pomocí zkoušky kontinuity – měření odrazu vlny způsobené úderem speciálního kladiva od paty piloty pomocí čidla umístěného na hlavě piloty.

Tento typ zkoušky je nedestruktivní, umožňuje nejen ověřit délku pilot, ale také kvalitu použitého betonu a jejich stav (např. výrazné poškození dříku piloty a jeho umístění). [7] [11]



Obrázek č.4 - Fotografie stavební jámy [10]

Návrh počtu a umístění nových CFA pilot byl prováděn na základě zatěžovacích zkoušek na FRANKI pilotách a výsledcích ze zkoušek kontinuity. Při odtěžování a demolici původního základu musela být použita jen lehká mechanická a manuální zařízení, aby nedošlo k poškození především hlav FRANKI pilot. Tato skutečnost by vedla k narušení jejich statické funkce a nemožnosti jejich využití pro založení nového mostního objektu. Všechny výše uvedené aspekty byly zváženy a zahrnuty do návrhu založení nového mostního objektu včetně spolupůsobení původních FRANKI a nových CFA pilot. Popsanou situaci na staveništi lze vidět na obrázku č. 4. [7]

Po demolici původní mostní konstrukce bylo přistoupeno k odtěžení zeminy z okolí základových konstrukcí mostu. Prostor základové jámy byl zapažen štětovicovou stěnou, která byla u některých základových jam postupně kotvena pomocí lanových kotev. V případě řešené patky č. 5 byl prostor starého říčního koryta řeky Visly zasypán šterky velké frakce tak, aby bylo umožněno proudění vody a zároveň pohyb těžké mechanizace po povrchu (viz obrázek č. 5). [10]

Po odtěžení zeminy a demolici původního základu byla provedena pasportizace původních FRANKI pilot, která se zaměřovala na popis umístění a počtu pilot, stavu hlav pilot a provedení zkoušek kontinuity. Stavební jámy byly během prací odvodňovány soustavou vakuových jehel a v případě potřeby také lokálními ponornými čerpadly. [10]

V dalším kroku byla stavební jáma zasypana zeminou po horní hranu štětovnicové stěny. Byl tak umožněn pojezd vrtací soupravy v místě základové patky. Po ukončení instalace pilot byl zásyp odtěžen až na úroveň spodní hrany základové patky. Na místě byla vyrobena základová patka a na ní navazující konstrukce. [10]



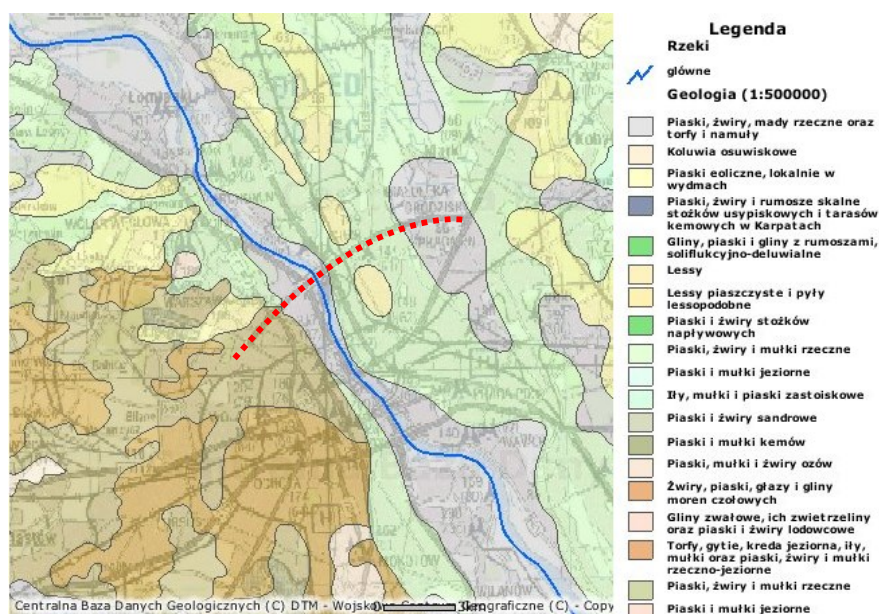
Obrázek č.5 - Zásyp starého říčního koryta řeky Visly [10]

2.3 Geologická situace

Území Polské republiky leží na styku tří velkých evropských geologických jednotek: prekambrické Východoevropské platformy, paleozoické Západoevropské platformy a mladého vrásového pohoří (Alpínská orogeneze). Předmětná lokalita leží v území prekambrické Východoevropské platformy. Poloha města Varšavy je vyznačena na geologické mapě Polska (viz obrázek č. 6). Výřez lokální geologie s vyznačenou trasou předmětné komunikace je uveden na obrázku č. 7. Území je charakterizováno krystalickým podložím překrytým sedimenty, jejichž sedimentace probíhala souvisle od spodních prvohor až do čtvrtohor. [12] [13]



Obrázek č.6 - Geologická mapa Polské republiky s vyznačením polohy Varšavy [13]



Obrázek č.7 - Výřez gelogické mapy předmětné lokality [14]

V rámci přípravy projektu bylo provedeno celkem devět geologických vrtů. V bezprostřední blízkosti patky se nachází vrt č. 63/18, který byl použit v modelových analýzách. Popis vrtu je uveden v tabulce č. 1. Pod vrstvou sutí a středně zrného písku se nachází vrstva, která byla klasifikována jako přechod z písčitojílovitého prachu do písčitého prachu. Pod touto vrstvou se níže nacházejí vrstvy středně zrných písků. Tyto nejspodnější vrstvy byly pro návrh a posouzení rozhodující. Středně zrné písky se vyznačovaly rostoucím indexem ulehlosti v závislosti na hloubce. Projektová dokumentace uvažuje index ulehlosti od 0,4 do 0,85. [10]

GV 63/18

H [m]	PN-B-02480:1986	
0-2,3	nN (Ps+gruz)	Nasyp niebudowlany (Piasek sredni +gruz)
2,3-3,0	$G\pi/\Pi p$, $I_L = 0,15$	Gлина pylasta/pyl piaszczysty
3,0-4,5	Ps, $I_D = 0,4$	Piasek sredni
4,5-8,5	Ps, $I_D = 0,6$	Piasek sredni
8,5-11,7	Ps, $I_D = 0,7$	Piasek sredni
11,7-18,0	Ps, $I_D = 0,85$	Piasek sredni
Hpv naražena v úrovni 2,1 m pod povrchem, ustálená hladina v úrovni 3,0 m pod povrchem		

Tabulka č.1 - Geologický vrt GV 63 [10]

Dalším podkladem pro zpracování návrhu založení objektů byly provedené CPTU zkoušky. Standardně byly tyto zkoušky prováděny pomocí kuželu s piezoelektrickým hrotem – CPTU, který umožňuje získávat také data o pórových tlacích. Z důvodu výskytu antropogenních navážek byly zkoušky prováděny až od hloubky 0,60 m. Tuto vrstvu navážek bylo proto nutné posuzovat pomocí Begemannova mechanického kuželu s měrným plášťovým třením. [15] [16]

Projektová dokumentace poskytnutá zadavatelem obsahovala geologický řez s popisem vrtů dle PN-B-02480:1986. Další podrobnější data o geologii nebyly obsaženy, proto bylo nutné zpětně vyhodnotit charakteristiky jednotlivých zemin z dané normy. Domníváme se, že tato skutečnost mohla vést k příliš příznivým hodnotám použitým v modelovém výpočtu.

Tabulka č. 2 uvádí použitou geologii v rámci modelové analýzy. Pro přehlednost byla klasifikace z normy PN-B-02480:1986 převedena do PN-EN ISO 14688. Jejich názvy byly přeloženy do českého jazyka dle ČSN EN ISO 14688-1.

Vyhodnocení materiálových charakteristik dle normy PN-B-02480:1986 probíhalo podle metody B. Tato metoda určuje hodnoty charakteristik zeminy na základě zadaných charakteristik v závislosti na vztahu mezi pevnostními a fyzikálními charakteristikami. Další možností je vyhodnocení podle metody A, která stanovuje vztahy mezi pevností a dalšími charakteristikami jako jsou I_L nebo I_D . Metoda A stanovuje charakteristiky zemin na základě polních nebo laboratorních zkoušek v souladu s PN-74/B-04452 a PN-75/B-04481 a rozsahem platnosti výše uvedené normy pro zatřídění zemin.

PN-B-02480:1986		PN-EN ISO 14688		ČSN 73 1001	
nN (Ps+gruz)	Nasyp niebudowlany (Piasek sredni + gruz)	MSa + suť	Střednězrný písek + suť	Y	Násyp/Navážka (Písek špatně zrněný + suť)
G_{π}/Π_p $I_L = 0,15$	Gлина пыlasta / pyl piaszczysty	saclSi / saSi	Písčitojílovitý prach / Písčitý prachy	F3 MS	Hlína písčitá
Ps $I_D = 0,4$	Piasek sredni	MSa	Střednězrný písek	S2 SP	Písek špatně zrněný
Ps $I_D = 0,6$	Piasek sredni	MSa	Střednězrný písek	S2 SP	Písek špatně zrněný
Ps $I_D = 0,7$	Piasek sredni	MSa	Střednězrný písek	S2 SP	Písek špatně zrněný
Ps $I_D = 0,85$	Piasek sredni	MSa	Střednězrný písek	S2 SP	Písek špatně zrněný

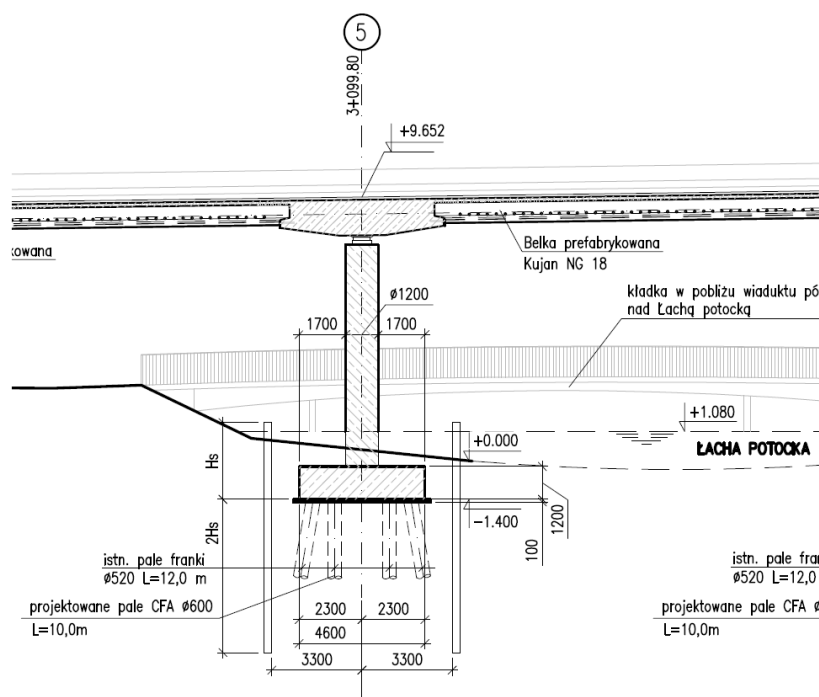
Tabulka č.2 - Překlad názvů zemin a jejich klasifikace v různých normách

2.4 Hydrogeologická situace

Hladina podzemní vody byla v rámci vrtu GV 63/18 naražena v hloubce 2,10 m pod hlavou vrtu. Ustálená hladina byla zaznamenána v hloubce 3,00 m pod povrchem. Podélný řez základovou patkou je uveden na obrázku č. 8. Běžným způsobem odvodnění základových jam byla instalace vakuových jehel po celém obvodu jámy. Kapacita tohoto systému byla ve většině případů dostačující. [10]

V případě předmětné patky č. 5 levého mostu došlo v průběhu výstavby k výraznému nárůstu přítoků do stavební jámy po instalaci CFA pilot. Toto zvýšení přítoků bylo neočekávané a vyžádalo si zcela odlišný způsob odvodnění – utěsnění stavební jámy. Tímto problémem se autor zabýval v rámci Studentské vědecké odborné činnosti 2015 na katedře Geotechniky a podzemních staveb, fakulty Stavební Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava (dále jen SVOČ). Jako možné příčiny tohoto jevu byly určeny změny koeficientů hydraulické vodivosti v závislosti na vysokých rychlostech proudění, které byly vyvolány masivním čerpáním při odtěžování původního základu. Vedly tak k nadlehčení zeminy a změně její ulehlosti. Tato úvaha vychází z předpokladu, že stejná zemina s různou ulehlostí má odlišný koeficient hydraulické vodivosti. Bohužel nebyla nalezena jediná odborná práce, která by tuto úvahu podpořila empiricky. [17] [18]

Další z možných příčin je sufoze způsobená nadměrným čerpáním vody, které zřejmě způsobilo vyplavení jemnozrnných částic z podloží, což vedlo k zvýšení hodnot koeficientů hydraulické vodivosti v podloží. Dá se předpokládat, že v průběhu výstavby mohlo dojít ke ztekucení písků, tento předpoklad však nebyl modelovým výpočtem ověřován. Tato teze byla podpořena také v rámci odborné literatury, viz Časopis Zakládání 1/2015. [17] [19]

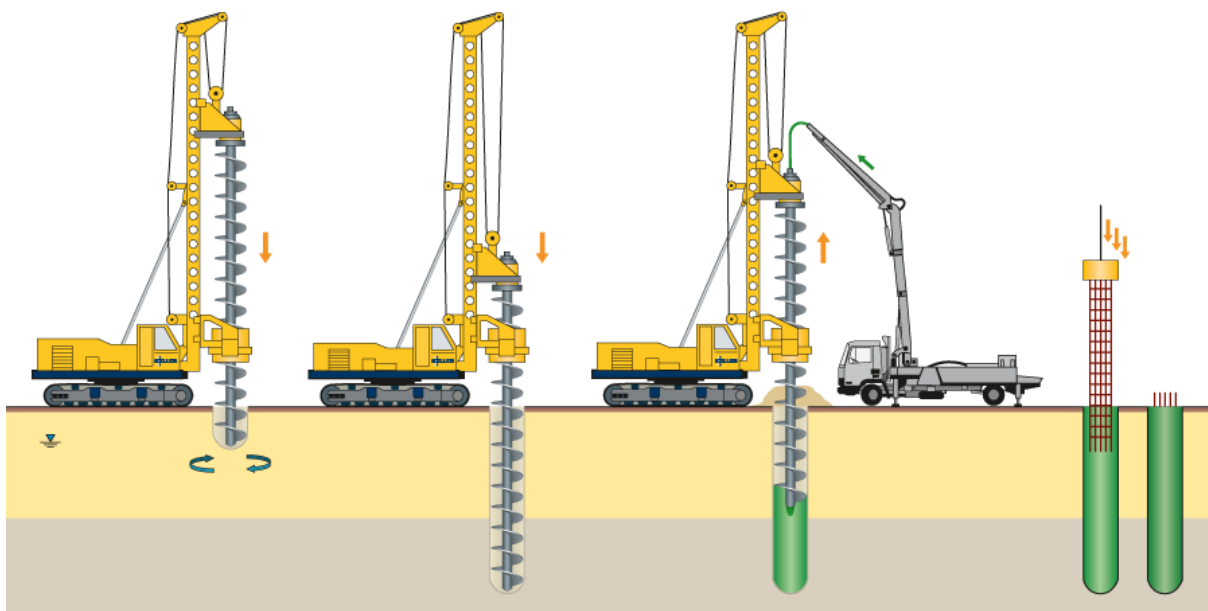


Obrázek č.8 - Podélný řez mostní konstrukcí [10]

Výsledné koeficienty hydraulické vodivosti zjištěné v rámci výše uvedené práce SVOČ 2015 byly použity pro vytvoření přesnějších podmínek v rámci modelového výpočtu. Pro zjednodušení modelového výpočtu nebyla základová jáma modelována v korytě řeky. Popis výše uvedeného problému řešeného v rámci práce SVOČ 2015 je uveden níže v kapitole 2.6 Problémy při realizaci.

2.5 Použité technologie

Při zakládání mostního objektu byly použity piloty typu CFA (Continuous Flight Auger), prováděné průběžným šnekem (viz obrázek č. 10). Technologie průběžného šneku nahrazuje pažení při zakládání ve vhodných zeminách. Použití průběžného šneku zvyšuje několikanásobně produktivitu při realizaci vrtaných na místě betonovaných pilot. Použití výpažnice není nutné, protože stabilita stěn je zajištěna pomocí zeminy ponechané v závitech šnekového vrtáku. [3] [20]



Obrázek č.9 - Schéma instalace CFA pilot [20]

Tato metoda je doporučena pro nesoudržné zeminy s vyšším indexem relativní ulehlosti $I_D > 0,4$ a pro soudržné zeminy, vyjma měkkých s hodnotou $c_u < 15$ kPa a senzitivních jílu a spraší. Obecnou podmínkou použití této metody je nepřítomnost velkých balvanů a tvrdých nevrtnatelných poloh či vložek. [1]

Instalace pilot typu CFA začíná zavrtáním šnekového vrtáku do zeminy. Vnitřní prostor vrtáku je uzavřen, aby nedošlo k jeho vyplnění zeminou nebo vodou. Při dosažení projektované hloubky je započato s čerpáním betonové směsi do vrtáku, současně je vytahován vrták. Po

dokončení betonáže dříku piloty se přistoupí k instalaci armokoše, který má mírně kónický tvar na špici. Armokoš je postupně zatlačován do betonové směsi vhodnou mechanizací bez vibrování. Celé schéma instalace pilot je ilustrováno obrázkem č. 9. [3] [1]

Bohužel ne vždy se podaří instalovat armokoš dle projektu. Tato chyba může být způsobena například zhroucením dříku piloty a jeho promísením s okolní zeminou. Takto vzniklou chybu nelze již napravit.



Obrázek č.10 - Instalace CFA pilot [21]

Původní řešení založení mostních objektů byla základová patka uložená na pilotách typu FRANKI. Technologie pilot FRANKI pochází z Belgie kde byla vyvinuta v 30. letech 20. století. Na území České republiky byla rozšířená v době před druhou světovou válkou, kdy na těchto pilotách bylo zakládáno mnoho výrobních hal i mostů a to převážně v nesoudržných zvodnělých zeminách. Tato skutečnost může být jedním z důvodů použití tohoto typu pilot v rámci původního založení mostního objektu. [6]

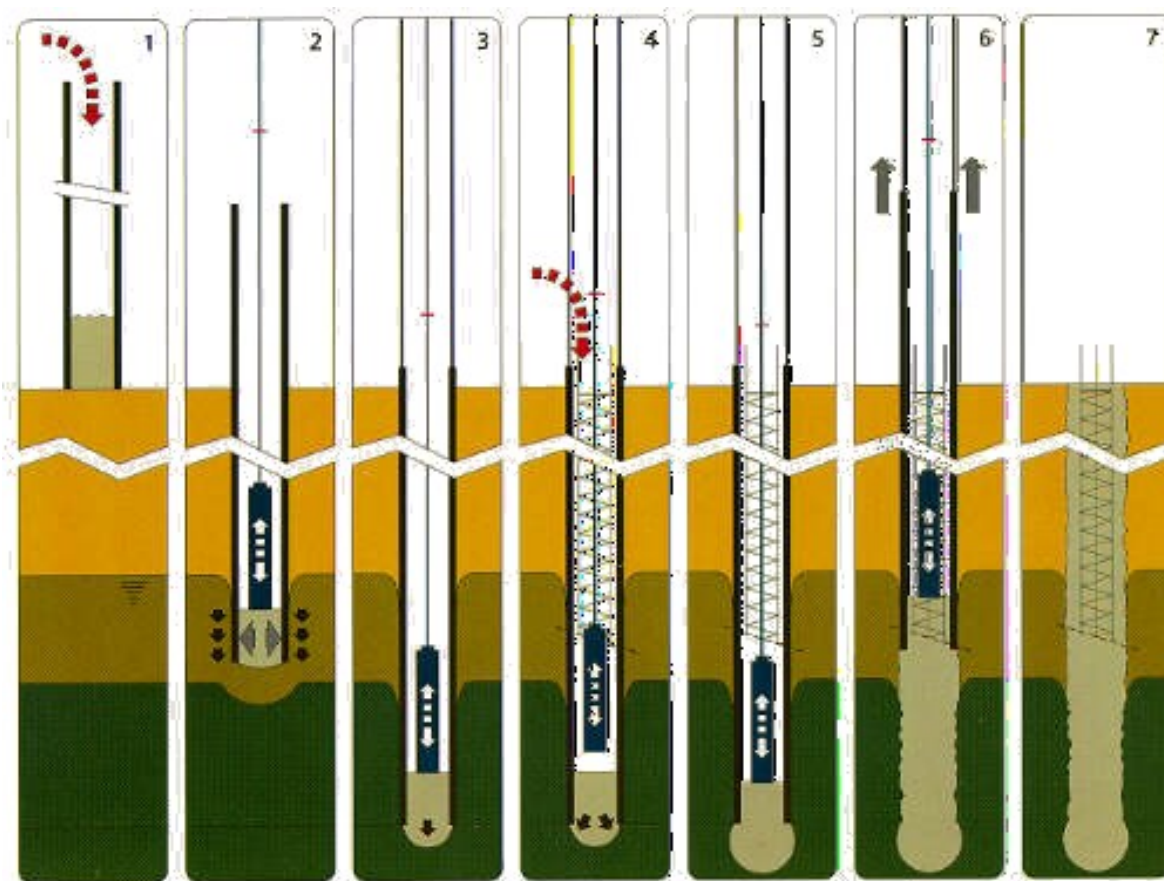
Z technologického hlediska jsou piloty typu FRANKI jsou řazeny mezi ražené (displacement), na místě betonované, dočasně pažené předražené piloty. Provádění tohoto typu pilot se na území České republiky řídí normou ČSN EN 12699:2001 *Provádění speciálních geotechnických prací – Ražené piloty*. [3] [6]

Při zahájení provádění se do razicí roury pomocí skipu instalovaného na lafetě razící soupravy nasype cca 0,15 m³ suchého betonu. Tato betonová směs by měla obsahovat hrubozrnnější frakce štěrku. Beton poté vytvoří v dolní části roury zátku, která je hutněna volným pádem beranu. Během beranění je razicí roura zatlačována do zeminy, přičemž přenos beranící síly je zčásti zprostředkován třením betonové zátky o vnitřní stěnu roury. Při beranění je monitorována velikost zatlačování roury do základové půdy ve vztahu k počtu úderů. Alternativou je měření velikosti mechanické energie ve vztahu k velikosti zatlačování roury. Významným úsekem pro tento monitoring jsou poslední jeden až dva metry dřívku piloty. Poměr mechanické energie a velikosti zatlačování do základové půdy předběžně popisuje s ohledem na druh základové půdy únosnost předrážené piloty. Po dosažení únosné vrstvy zeminy, která je definována předepsaným poměrem mechanické energie k velikosti zatlačování do základové půdy nebo předepsané hloubky, se povytáhne razicí roura. Přidá se cca 0,5 – 1,5 m³ betonu aby mohlo dojít k vyražení zátky. Tato akce má za následek formování paty piloty. Nesmí však dojít k úplnému vyražení zátky z razicí roury, mohlo by dojít k porušení kontinuity piloty. V další fázi se do razicí roury osadí armokoš za podmínek předepsaných projektem. Následně je přisypáván beton, který je hutněn vibračním zařízením uvnitř armokoše za současného vytahování razicí roury. Při provádění na místě betonovaných pilot je energie ražení uzpůsobena pevnosti použitého betonu tak, aby dosahovala max. 80% pevnost betonu v tlaku. Fotografie provádění a schéma instalace pilot je ilustrováno na obrázcích č. 11 a č. 12. [18] [6]



Obrázek č.11 - Instalace FRANKI pilot [22]

Hotové FRANKI piloty se vyznačují drsným pláštěm, který iniciuje vyšší plášťové tření a mimořádně kvalitním betonem. Jeho kvalita je zapříčiněna nízkým vodním součinitelem a účinností hutnění. Pevnost výsledného betonu se pohybuje okolo 150% krychelné pevnosti betonu odpovídající třídy. Mezi nevýhody tohoto typu pilot patří vznik velkých dynamických účinků při provádění, které jsou několikanásobně větší než při vibrování. Dalším negativem je omezené použití dle místní geologie. FRANKI piloty jsou účinné v nesoudržných zeminách, které neobsahují velké balvany nebo tvrdé neprorazitelné vložky – podobně jako piloty typu CFA. [6] [2]



Obrázek č.12 - Schéma instalace FRANKI pilot [22]

2.6 Problémy při realizaci

Při realizaci stavby takto velkého rozsahu se nevyhnutelně objevují rozdíly mezi předpoklady a skutečností. Tato difference často vyústí v komplikace v průběhu výstavby. Jedním z rizikových faktorů je nedostatečný geotechnický průzkum, který v případě svého podcenění může vést k zcela mylným předpokladům. Jejich skutečná hodnota se může projevit již v průběhu realizace stavby nebo až později po dokončení stavby a jejím uvedení do provozu. Dalším a neméně důležitým faktorem, který je popsán na jiném místě této práce, je znalost okrajových podmínek návrhů použitých prvků. [15]

V rámci výstavby předmětné stavby se objevily některé problémy. Jedním z problémů byl rozdíl v chování jemnozrnných písků nacházejících se v okolí řeky Visly, které jsou od úrovně hladiny řeky zvodnělé, oproti předpokládanému stavu. Konkrétně jejich mimořádná schopnost přijímat do sebe vodu, což vede k jejich ztekucení. Speciální zakládání je v tomto prostředí obtížné. Při použití klasických vrtaných pilot je nutné realizovat balastování, což je zatápění vrtu vodou tak, aby byl vytvořen přetlak zamezující vtékání materiálu dnem do vrtu. Při provádění balastování na některých částech stavby docházelo k okamžitému odtékání vody z vrtu až na úroveň hladiny řeky Visly. Tento fakt vedl k vytvoření neúplného přetlaku na dno vrtu. [8]

Schopnost písků přijímat do sebe vodu vedla také k dalšímu typu problému. Při provádění pilot typu CFA docházelo v některých typech písků k výraznému odvodnění betonu, což vedlo k problémům s zavibrováním armokoše do piloty. Tento problém musel být řešen na stavbě úpravou receptury betonové směsi. [8]

Dalším problémem, který vyvstal v rámci realizace předmětné patky č. 5, byla změna hydrologické situace během realizace základové patky. Před prvotním vstupem do prostředí proběhl geologický a geotechnický průzkum. Z těchto zdrojů jsme znali pouze úroveň podzemní vody a dalšími parametry zemi použité ke klasifikaci a popisu. Bohužel žádná dostupná literatura neuvádí jakékoliv hodnoty koeficientů hydraulické vodivosti ve vztahu k ostatním charakteristikám zemin v potřebném rozsahu. Proto tyto parametry byly po konzultacích stanoveny odhadem pouze v rámci doporučených hodnot, které lze najít v odborné literatuře. [17]

Během výkopu a bourání původní základové konstrukce na předmětné patce č. 5 levého mostu byla voda čerpána pomocí vakuových jehel. Vzhledem k zvýšeným přítokům byla voda později

čerpána také pomocí dvou ponorných čerpadel umístěných na dně jámy v množství cca 1000 l/min. Následoval standardní zásyp jámy pro umožnění pojezdu vrtací soupravy. Po instalaci CFA pilot ze zásypu bylo přikročeno k opětovnému odtěžení zásypu stavební jámy. Po odkrytí cca 15% z plochy jámy bylo odtěžování ukončeno z důvodů přítoků do stavební jámy, které již nebyly čerpatelné běžnými prostředky. Ukončení čerpání proběhlo na základě konzultace s odborníky, kteří nedoporučili další masivnější čerpání z důvodu předpokládaného porušení přirozeného hydrologického prostředí a možných sufozních jevů. Proto bylo přistoupeno k použití tryskové injektáže (jet-grouting), kterou bylo vytvořeno nepropustné dno (viz obrázek č. 13). Dále práce pokračovaly odtěžením na úroveň spodní hrany základové patky, která byla následně realizována dle projektu. [10]

Podobná problematika, avšak v jiných geologických podmínkách, byla řešena při výstavbě Malých vodních elektráren na Dolním Labi. Tyto stavby se také potýkaly s enormními přítoky do stavební jámy. Přítoky byly zapříčiněny puklinovým systémem, který obsahoval artézské tlakové vody. [23]

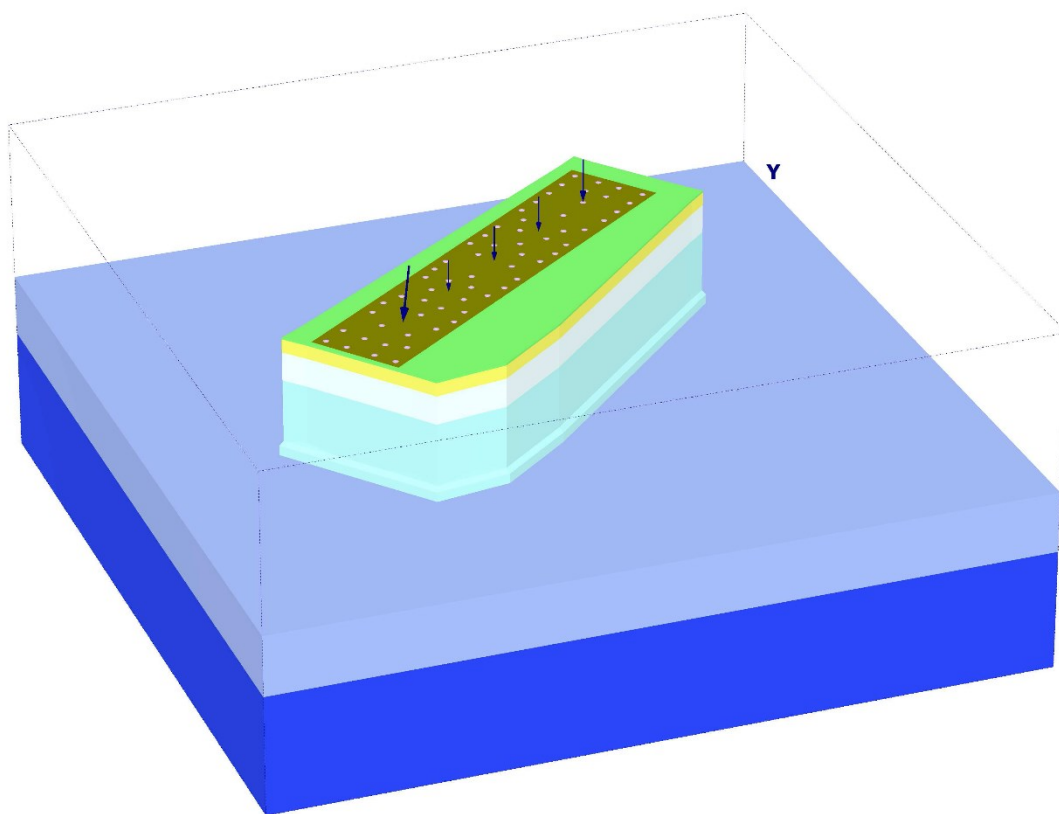


Obrázek č.13 - Instalace Jet-Groutingu [10]

3 Posouzení stávajícího návrhu základové patky mostního pilíře, modelový výpočet

Pro posouzení způsobu založení mostního objektu pomocí pilot a základové patky byl použit program Plaxis Foundation 3D. Tento program je určen speciálně pro trojrozměrné výpočty pomocí metody konečných prvků. Program umožňuje počítat deformace a stabilitní analýzy různých druhů základů a zemních prací v zeminách a horninách. Software umožňuje také modelové analýzy jiných typů konstrukcí – zemních kotev a pilot. Na obrázku č. 14 je zobrazen model základové konstrukce v použitém programovém rozhraní. Části zeminy okolo prostoru základové jámy byly skryty při vykreslení pro větší názornost.

Práce se zaměřuje primárně na posouzení únosnosti pilot. Stabilita a únosnost základové patky nebo základové jámy není předmětem práce, a proto bylo přistoupeno v rámci vytváření modelového výpočtu k zjednodušení některých konstrukcí.



Obrázek č.14 - Základová konstrukce v programovém rozhraní Plaxis 3D Foundation

3.1 Popis modelového výpočtu

Model je tvořen geologií (viz tabulka č. 3), stěnou představující pažicí konstrukci jámy, deskou, která nahrazuje skutečnou základovou patku a pilotami.

		ρ	ρ_{sat}	φ	c_u	v	E_0
PN-B-02480:1986		kN/m ³	kN/m ³	°	kPa	-	MPa
nN (Ps+gruz)	Nasyp niebudowlany (Piasek sredni + gruz)	20,5	22,0	22	2,00	0,22	45,00
$G\pi/\Pi p$	Glina pylasta / pyl piaszczysty	21,0	26,6	23,00	25,00	0,25	30,00
Ps	Piasek sredni $I_D = 0,4$	20,00	26,4	32,2	-	0,25	68,00
Ps	Piasek sredni $I_D = 0,6$	20,5	26,4	33,6	-	0,25	75,00
Ps	Piasek sredni $I_D = 0,7$	20,5	26,4	34,3	-	0,25	110,00
Ps	Piasek sredni $I_D = 0,85$	20,5	26,4	35,3	-	0,25	135,00

Tabulka č.3 - Materiálové charakteristiky použité v modelovém výpočtu

Piloty byly vytvořeny pomocí prvků Embedded pile. Tyto prvky jsou modelovány jako prutové nosníky a jsou definovány charakteristikami na základě lineárně elastického modelu založeného na tuhosti (definované pomocí Youngova modulu E) a tíže materiálu piloty. Dalšími parametry piloty jsou: kruhový plný průřez a průměr. Průměr piloty ovlivňuje především velikost elastické zóny zeminy v okolí piloty. Tyto podmínky zajišťují podobné chování piloty jako v případě modelování pomocí prvků Volume pile. [24]

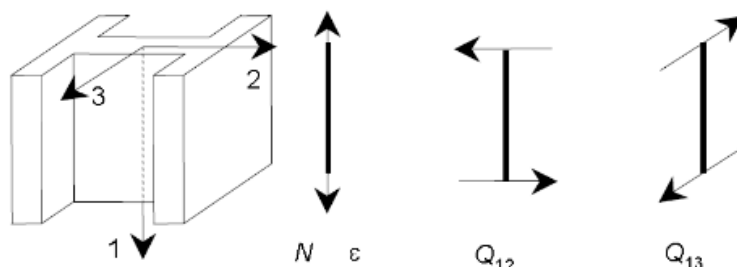
Interakce mezi pilotou a okolní zeminou je vytvořena pomocí speciálního interface prvku. Chování tohoto interface prvku je řízeno pomocí elasto-plastického modelu. Definice chování je řízena zadanými hodnotami plášťového tření a odporu na patě piloty. [24]

V rámci modelu bylo plášťové tření zadáno v závislosti na geologii (multi-lineárně). Maximální únosnost piloty je v modelu uvažována dle vztahu:

$$N_{pile} = F_{max} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{2} \times (L_{i+1} - L_i) \times (T_i + T_{i+1}) \quad (1)$$

kde i je označení pořadí vrstvy zeminy. [24]

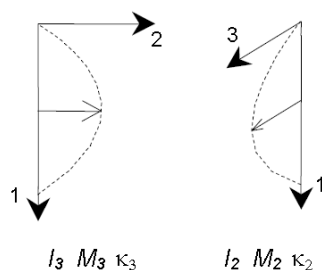
V modelu jsou všechny tahové síly zobrazeny jako kladné a tlakové jsou záporné. Každý prvek má vytvořen lokální osový systém, ve kterém je orientován 1. osou v ose prvku (v případě pilot svisle), 2. osou ve směru globální osy x a 3. osou ve směru globální osy z . Osy jsou zobrazeny na obrázku č. 15. [24]



Obrázek č.15 - Osové síly pilot [24]

(1,2,3 – lokální osy, N – normálová síla, Q_{12} – smyková síla, Q_{13} – smyková síla)

Výstupní data modelového výpočtu obsahují v případě prvku Embedded pile: normálové síly N [kN], smykové síly Q_{12} a Q_{13} [kN], ohybové momenty M_2 a M_3 [kNm], sílu na plášti T_{skin} [kN/m] a boční síly T_2 a T_3 [kN/m]. Orientace sil a napětí jsou uvedeny na obrázcích č. 15 a 16. [24]



Obrázek č.16 - Ohybové momenty pilot [24]

M_2, M_3 – ohybové momenty

Síla na plášti T_{skin} je stanovena jako síla odpovídající relativním posunům v podélném směru piloty a boční síly T_2 a T_3 jsou stanoveny na základě relativních rovnoběžných posunů piloty v rovině os 2 a 3. [24]

3.2 Vstupní data modelového výpočtu

Pro potřeby modelové analýzy bylo nutné stanovit hodnoty tření piloty na plášti a únosnosti pod patou piloty. Stanovení těchto hodnot bylo provedeno dle ČSN EN 1997-2, vzorce (2) a (3), na základě CPTU zkoušek.

Únosnost pilot se skládá z maximálního napětí na patě piloty a z tření na plášti.

Stanovení maximálního napětí v patě piloty $p_{\max, \text{pata}}$ dle ČSN EN 1997-2:

$$p_{\max, \text{pata}} = 0,5 \times \alpha_p \times \beta \times s \times \left(\frac{q_{c,I, \text{stř}} + q_{c,II, \text{stř}}}{2} + q_{c,III, \text{stř}} \right) \quad (2)$$

kde $q_{c,I, \text{stř}}$ je průměr z hodnot $q_{c,I}$

$q_{c,II, \text{stř}}$ je střední hodnota nejnižších hodnot penetračního odporu $q_{c,II}$

$q_{c,III, \text{stř}}$ je střední hodnota penetračního odporu $q_{c,III}$

α_p je součinitel redukce únosnosti piloty v patě

s je součinitel tvaru piloty

β je součinitel vlivu rozšířené paty

Výsledky stanovení maximálního napětí v patě piloty $p_{\max, \text{pata}}$ dle ČSN EN 1997-2 uvádí tabulka č. 4 pro oba typy pilot.

Typ pilot	$q_{c,I, \text{stř}}$ [MPa]	$q_{c,II, \text{stř}}$ [MPa]	$q_{c,III, \text{stř}}$ [MPa]	s	β	α_p	$p_{\max, \text{pata}}$ [MPa]	F_{\max} [kN]
CFA	24,18	31,2	2	0,8	0,8	0,5	4,75	1,33E+03
FRANKI				0,8	0,9	1,0	10,69	2,27E+03

Tabulka č.4 - Max. odpor v patě piloty dle ČSN EN 1997-2

Stanovení tření na plášti piloty $p_{\text{plášť}, i}$ dle ČSN EN 1997-2:

$$p_{\text{plášť}, i} = \alpha_s \times q_{c,i} \quad (3)$$

kde α_s je součinitel redukce plášťového tření

$q_{c,i}$ je penetrační odpor v pro vrstvu i

V tabulce č. 5 jsou uvedeny hodnoty tření na plášti CFA pilot použité v modelové analýze v programu Plaxis 3D Foundation.

Název vrstvy	Mocnost podél pilot [m]	$q_{c,i}$ [-]	α_s [-]	$p_{plášť}$ [MPa]	T_{CFA} [kN/m]
nN (Ps+gruz)	0,10	0	0,006	0,00	0
$G\pi/\Pi p$ $I_L = 0,15$	0,70	1,5		0,009	19,96
Ps, $I_D = 0,4$	1,50	16,5		0,099	186,61
Ps, $I_D = 0,6$	4,00	18,7		0,112	211,12
Ps, $I_D = 0,7$	3,20	19,3		0,116	218,65
Ps, $I_D = 0,85$	0,50	39,3		0,236	444,85

Tabulka č.5 - Tření na plášti CFA piloty dle ČSN EN 1997-2

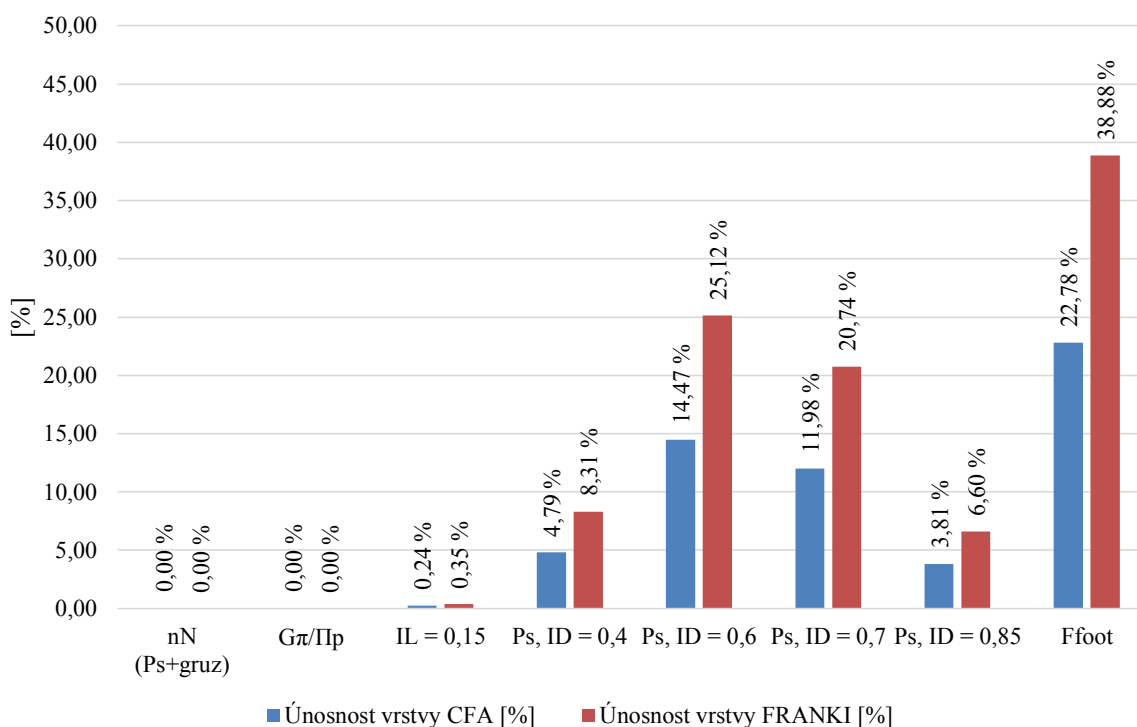
V tabulce č. 6 jsou uvedeny hodnoty tření na plášti FRANKI pilot použité v modelové analýze v programu Plaxis 3D Foundation.

Název vrstvy	Mocnost podél pilot [m]	$q_{c,i}$ [-]	α_s [-]	$p_{plášť}$ [MPa]	T_{FRANKI} [kN/m]
nN (Ps+gruz)	0,10	0	0,012	0,00	0
$G\pi/\Pi p$ $I_L = 0,15$	0,70	1,5		0,009	29,41
Ps, $I_D = 0,4$	1,50	16,5		0,099	323,46
Ps, $I_D = 0,6$	4,00	18,7		0,112	366,59
Ps, $I_D = 0,7$	3,20	19,3		0,116	378,35
Ps, $I_D = 0,85$	0,50	39,3		0,236	770,42

Tabulka č.6 - Tření na plášti FRANKI piloty dle ČSN EN 1997-2

Z výše uvedených hodnot lze říci že FRANKI piloty mají vyšší odpor na patě piloty a větší tření na plášti, což odpovídá typu pilot. Vypočtené hodnoty nebyly nijak upravovány. Tato možnost byla uvažována u pilot FRANKI, které byly součástí původní základové konstrukce mostu a byly instalovány v druhé polovině 20. století. Důvodem byla jejich možná degradace vlivem času a nevhodného provádění.

Vyšší odpor na patě piloty a větší plášťové tření je znázorněn v grafu č. 1. Graf ukazuje procentuální poměry únosnosti jednotlivých vrstev přepočtené na jejich mocnost. U piloty CFA lze sledovat, že největší část zatížení může být přenášeno patou piloty. U piloty FRANKI je stav podobný. Modelová analýza však ukázala, že tohoto stavu nebylo v žádném momentě modelové analýzy dosaženo. Pata piloty byla zatěžována max. ze 14,7% z celkového zatížení na pilotě.



Graf č.1 - Poměrné únosnosti jednotlivých vrstev

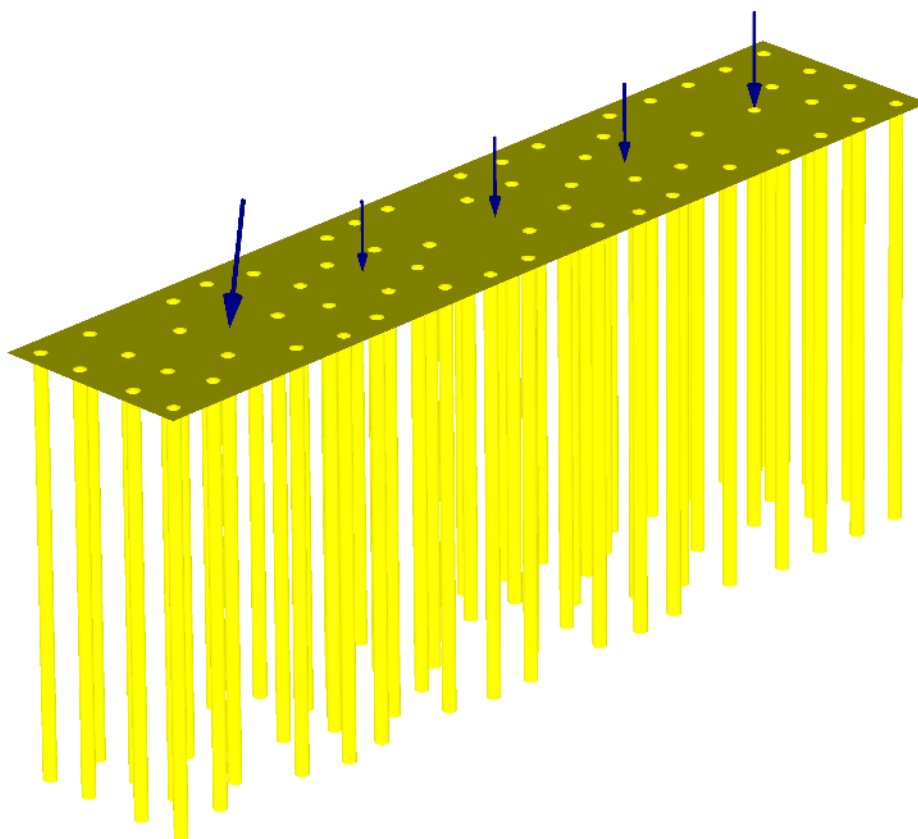
V rámci práce byl posouzen stávající návrh založení, který zahrnuje také zatížení přenášené pomocí sloupů do základové patky. Zatížení se skládá z bodových zatížení v pěti bodech rozložených na patce dle umístění sloupů. Skutečné umístění sloupů je ilustrováno na obrázku č. 17 a 19. Obrázek č. 18 uvádí rozložení sil v rámci modelové analýzy. V projektové dokumentaci jsou uvedeny hodnoty reakcí v podporách a maximální zatížení ložisek mostu. Modelový výpočet neuvažoval žádné kombinace zatížení. Zatížení bylo stanoveno rovno maximálnímu zatížení ložisek mostu. Hodnoty zatížení jsou uvedeny v tabulce č. 7.

Bod	V [kN]	H [kN]
5.1	7 000	800
5.2	4 000	0
5.3	4 500	0
5.4	4 500	0
5.5	5 500	0
SUMA	25 500	800

Tabulka č.7 - Hodnoty zatížení stávajícího stavu



Obrázek č.17 - Umístění sloupů v rámci základové patky [21]



Obrázek č.18 - Rozložení zatížení použité v modelovém výpočtu

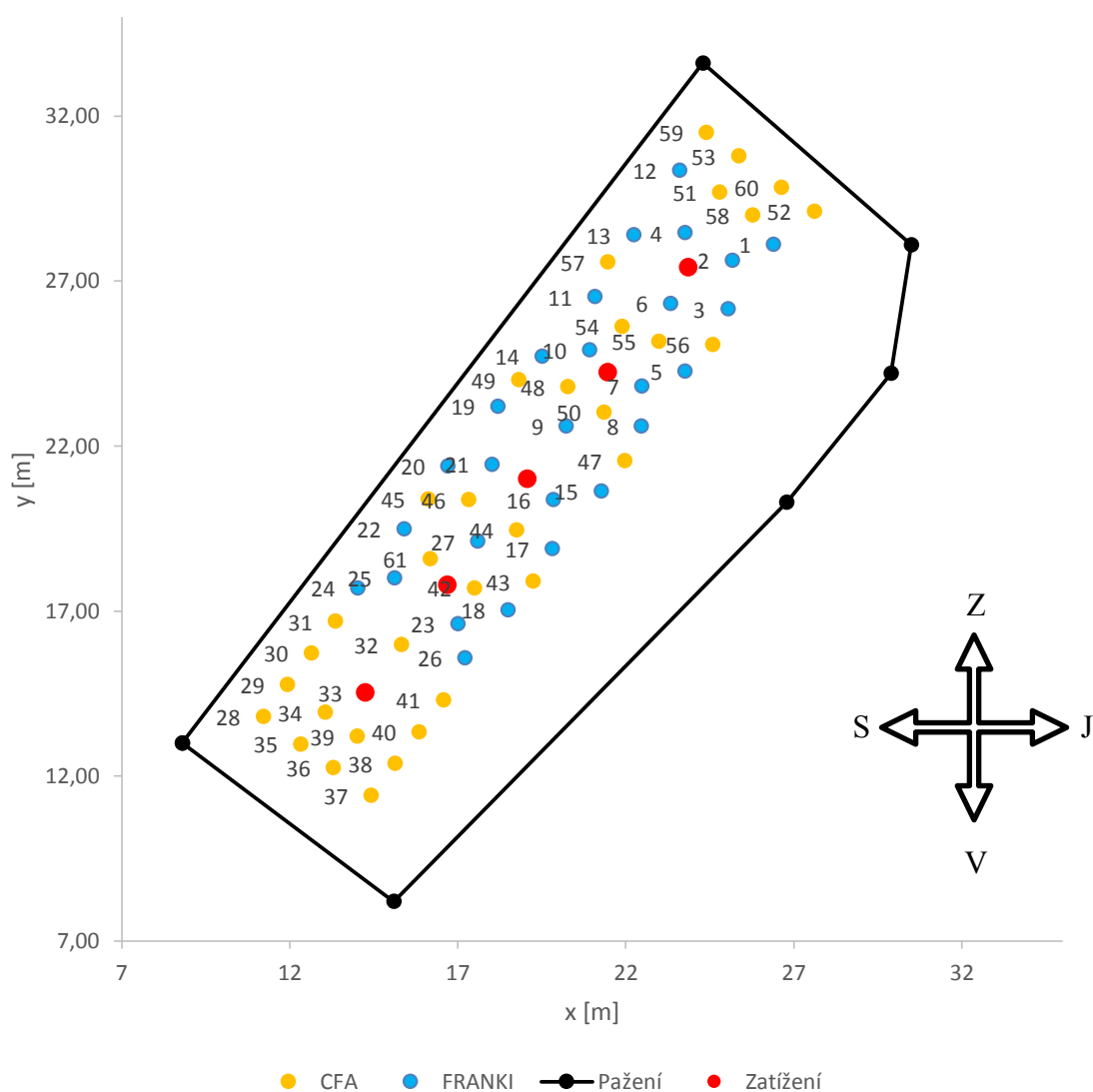


Obrázek č.19 - Provázání pilot se základovou patkou [10]

3.3 Výsledky modelového výpočtu

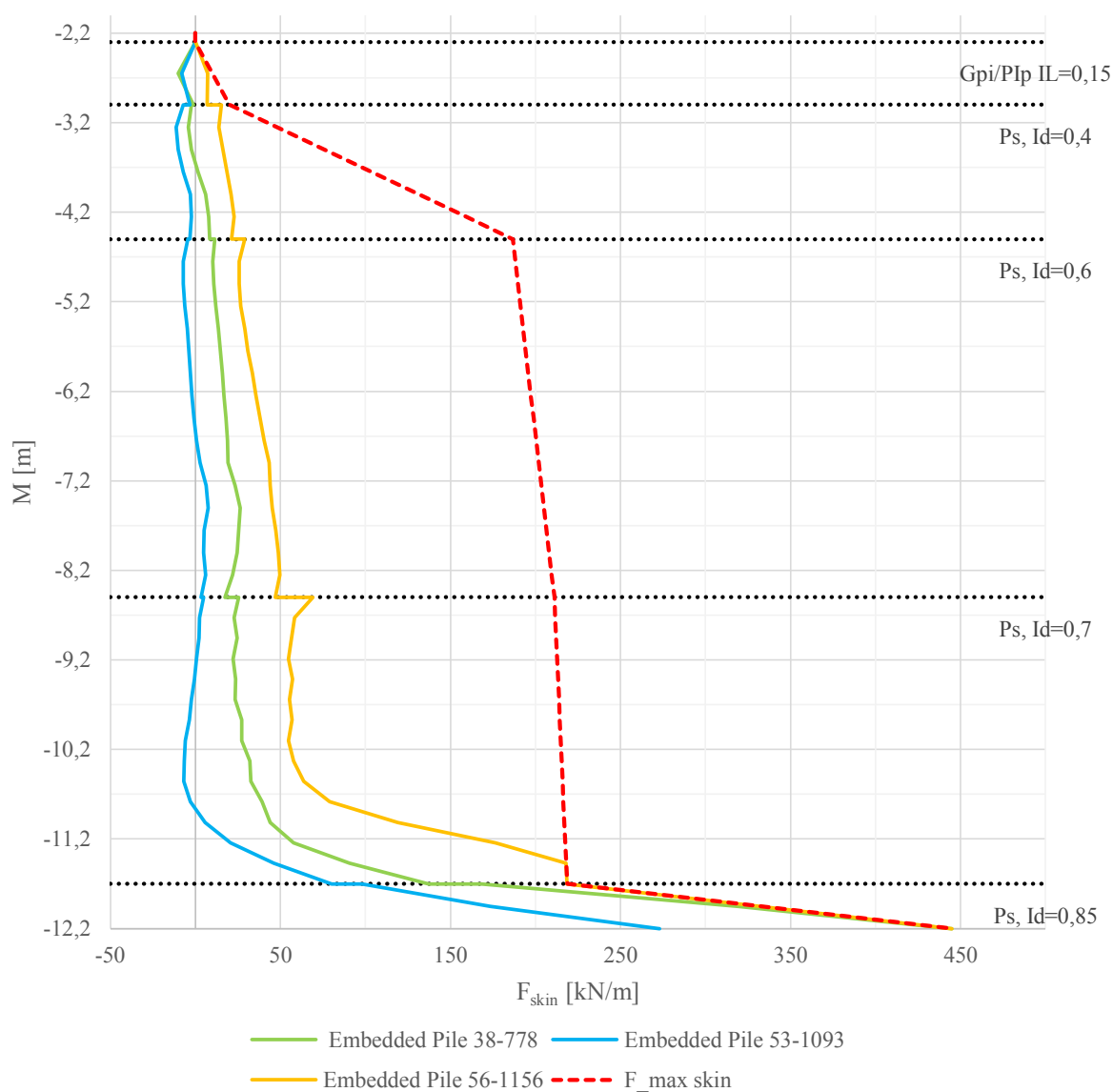
Celý výpočet byl dokončen řádně. Lze konstatovat, že v rámci modelového výpočtu nebyla překročena únosnost pilot ani okolní zeminy. Níže jsou vyhodnoceny podrobná data získaná z modelového výpočtu.

Zobrazení označení jednotlivých pilot a bodů zatížení rámci výpočetního modelu je uvedeno v grafu č. 2. V grafu je zobrazena směrová růžice. Světové strany jsou orientovány tak, aby odpovídaly skutečnosti v grafu. K jejich přehození došlo z důvodu transformace dat do opačného souřadného systému použitého v programu. Tento fakt nemá žádný vliv na výsledky.

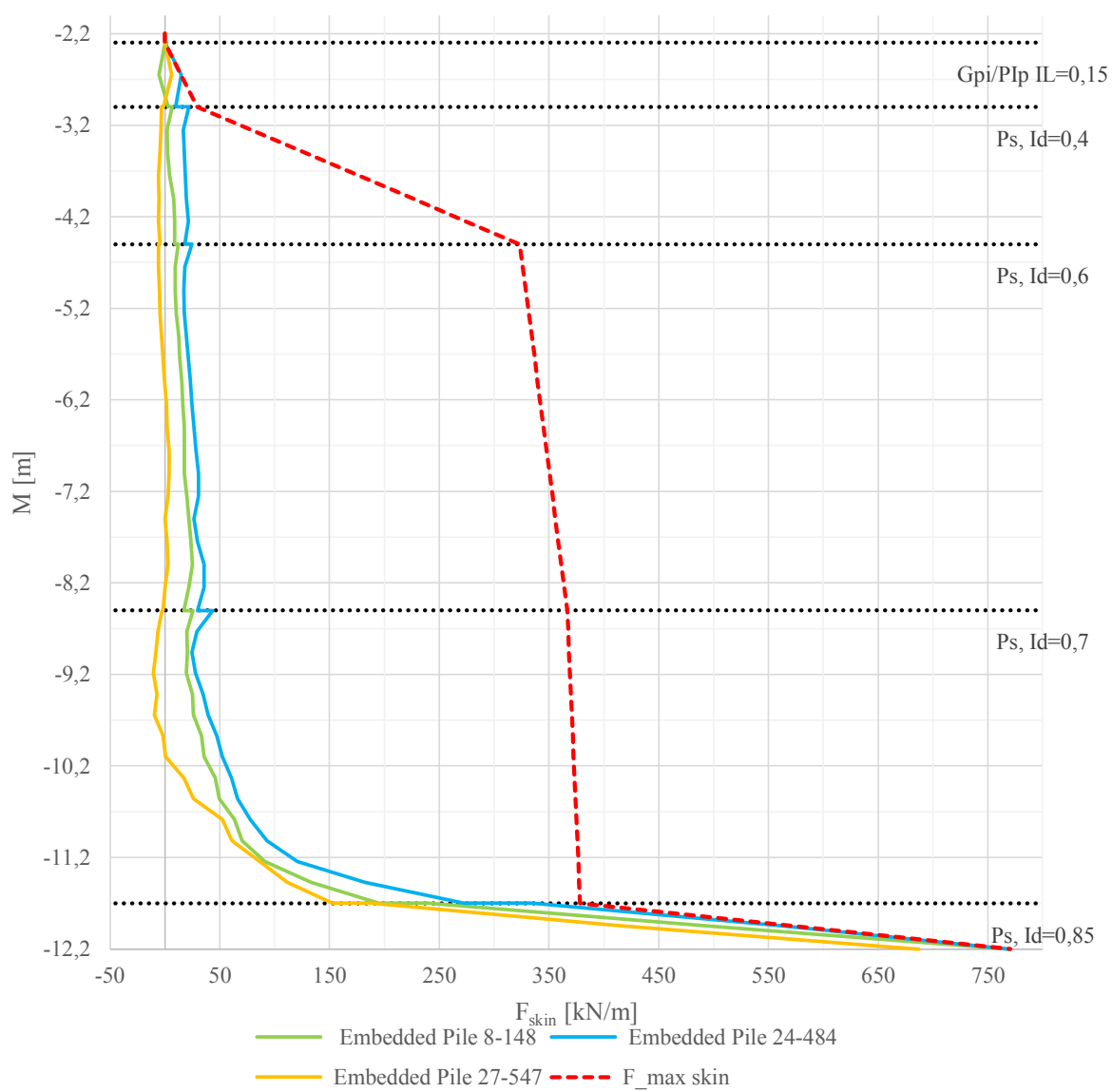


Graf č.2 - Rozložení pilot v modelovém výpočtu

Jednou z důležitých charakteristik pilot je přenos zatížení pomocí plášťového tření. Hodnoty plášťového tření v závislosti na hloubce při plném zatížení dle stávajícího návrhu jsou vyneseny v grafu č. 3 pro typ pilot CFA a v grafu č. 4 pro typ pilot FRANKI. Zvýrazněna je křivka představující maximální hodnotu plášťového tření. Hodnoty grafu ukazují, že únosnost plášťového tření je aktivována směrem zespoda nahoru, nejdříve se aktivuje plášťové tření v okolí paty piloty. V této vrstvě je také nejvyšší odpor zeminy. Vykresleny jsou vždy 3 piloty, odpovídající nejvíce, nejméně a průměrně zatížené pilotě.



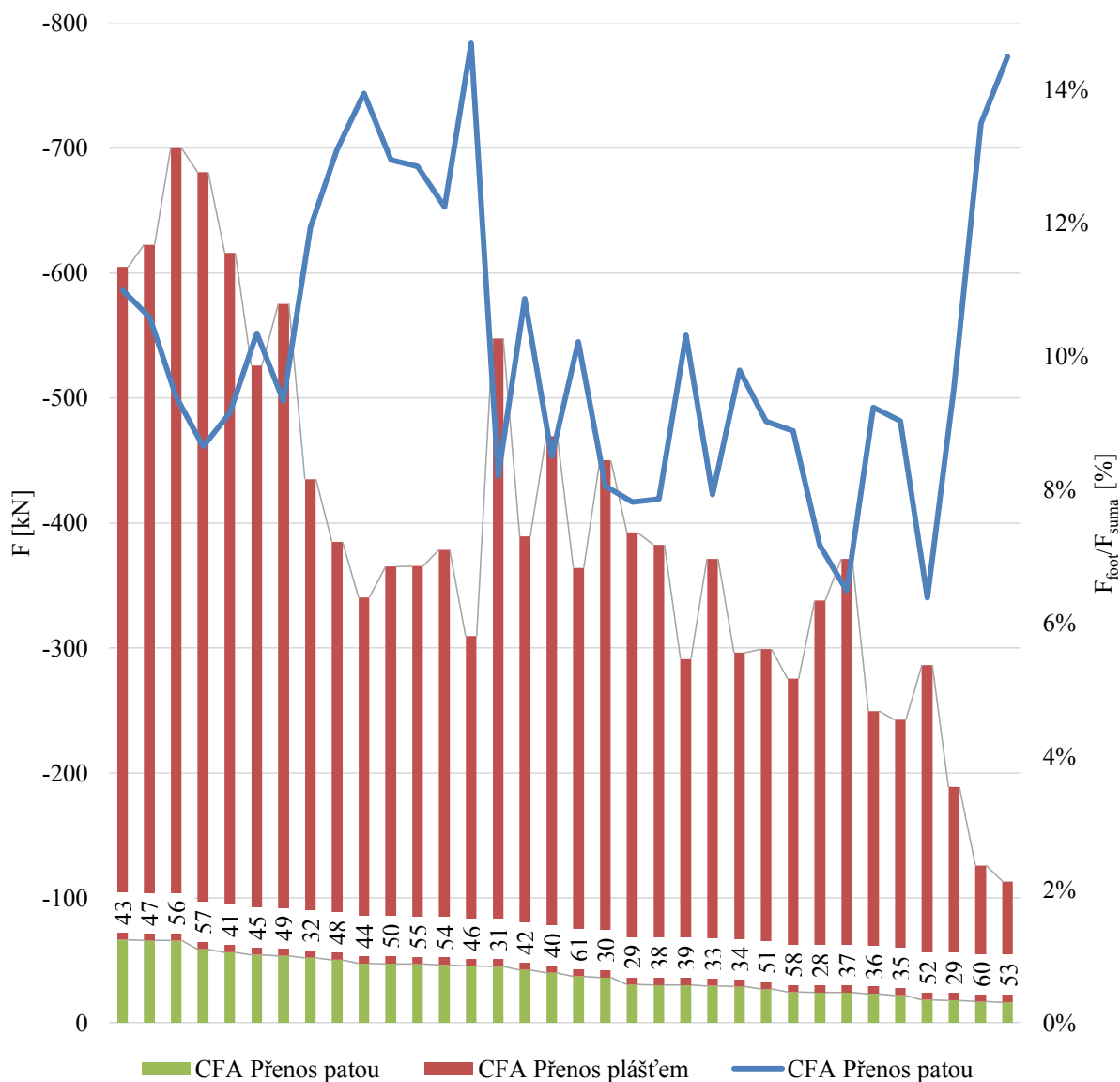
Graf č.3 - Hodnoty tření na plášti - CFA piloty



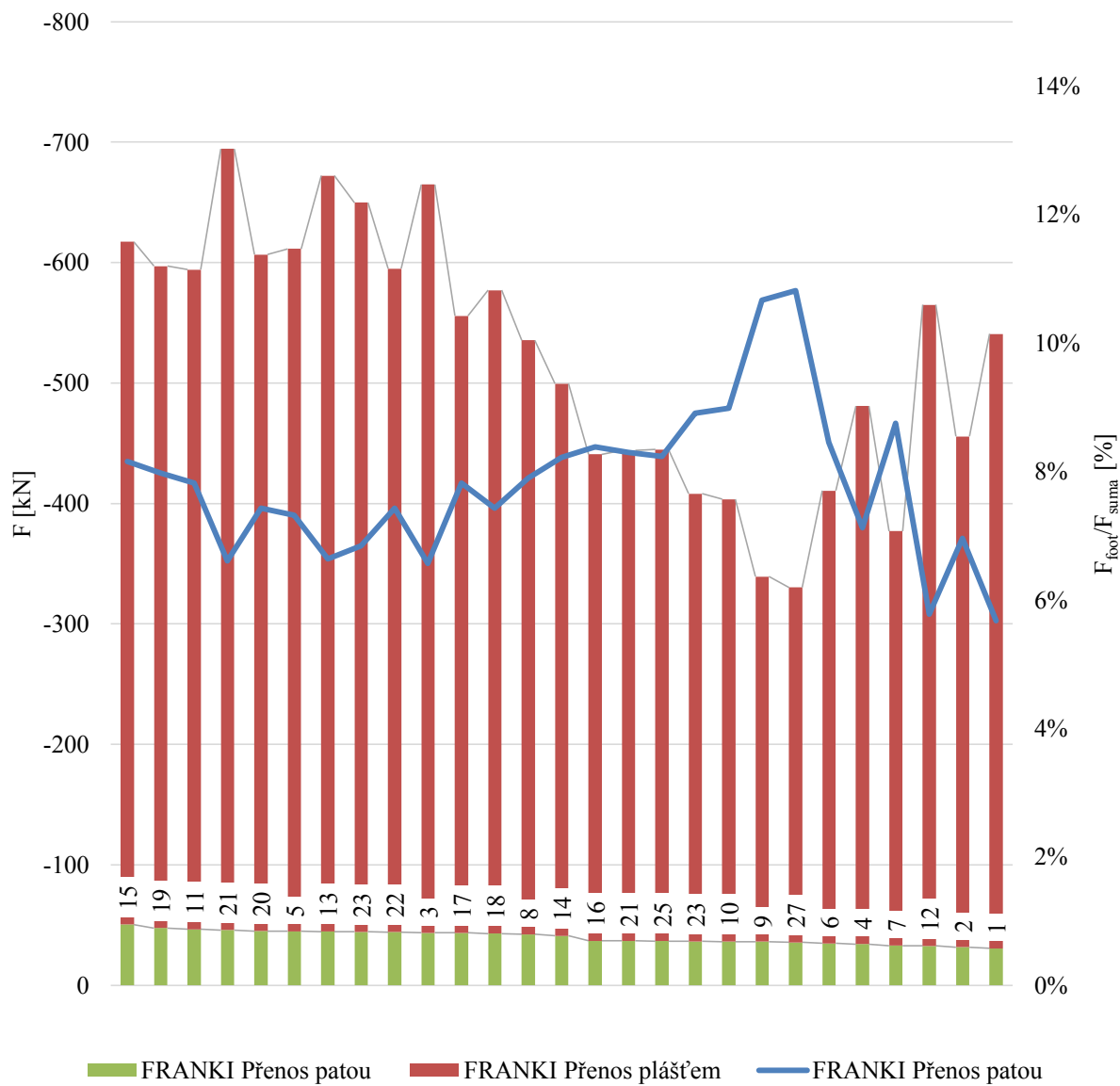
Graf č.4 - Hodnoty tření na plášti - FRANKI piloty

Vyhodnocení dat bylo zaměřeno také na stanovení principu rozložení přenášení zatížení mezi patou piloty a jejím pláštěm.

Grafy č. 5 pro piloty typu CFA a č. 6 pro piloty typu FRANKI zobrazují podíl sil přenesených patou k celkové síle přenášené pilotou. Z tohoto grafu není patrná žádná přímá závislost mezi poměrem sil přenesených patou a celkovou silou v pilotě.



Graf č.5 - Porovnání přenosu patou a pláštěm piloty CFA

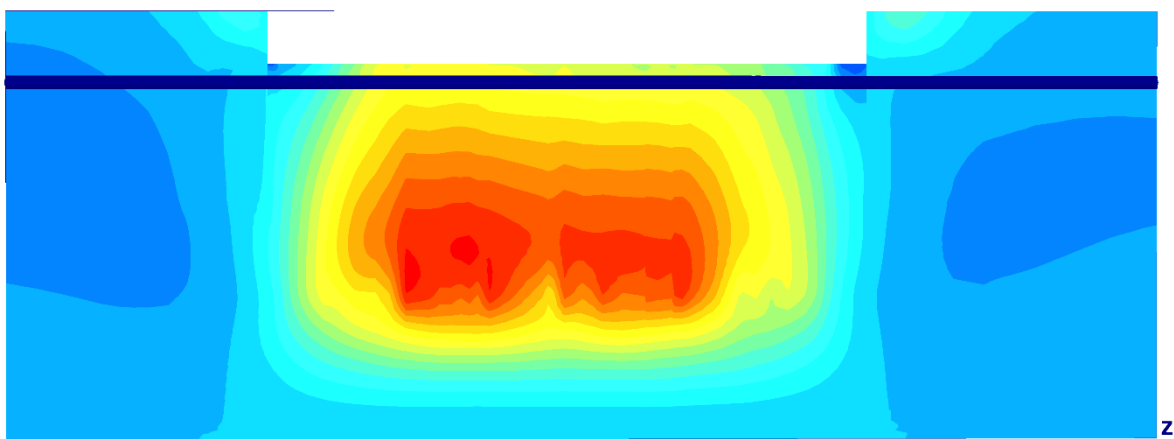


Graf č.6 - Porovnání přenosu patou a pláštěm piloty FRANKI

Skutečnost, že nebyla nalezena závislost mezi podílem sil přenesených patou k celkové síle přenášené pilotou v grafech č. 5 a č. 6, vedla k nutnosti hledat vztah podílu přenosu sil vzhledem k jiným veličinám. Ověřovanou tezí byla závislost vyplývající z definice maximálního napětí na patě piloty, které je aktivováno úměrně s rostoucími deformacemi ve svislém směru.

Princip rozložení přenášení zatížení mezi patou piloty a jejím pláštěm v závislosti na svislé deformaci piloty je zobrazen v grafu č. 7. Z výše uvedených hodnot lze pozorovat závislost mezi svislou deformací piloty a poměrnou částí zatížení přenesenou patou piloty. Tyto výsledky však nelze brát paušálně, jak lze vidět u některých pilot. Způsob rozdělení zatížení mezi patou piloty a pláštěm je komplikovaným systémem. Je nutno zohlednit nejen poměr těchto napětí, celkové zatížení a svislou deformaci, ale také pozici piloty vzhledem k zatížení a umístění v rámci základové patky.

Na obrázku č. 20 je možné sledovat průběh svislých posunů u_y v podélném řezu základovou jámou. Červené oblasti mají hodnotu cca -3,00 mm, tmavě modré oblasti se blíží hodnotě + 0,80 mm. Z tohoto obrázku lze říci, že největší svislé posuny v zemině jsou identifikovány v oblasti pat pilot a korespondují se svislými posuny na patách pilot.

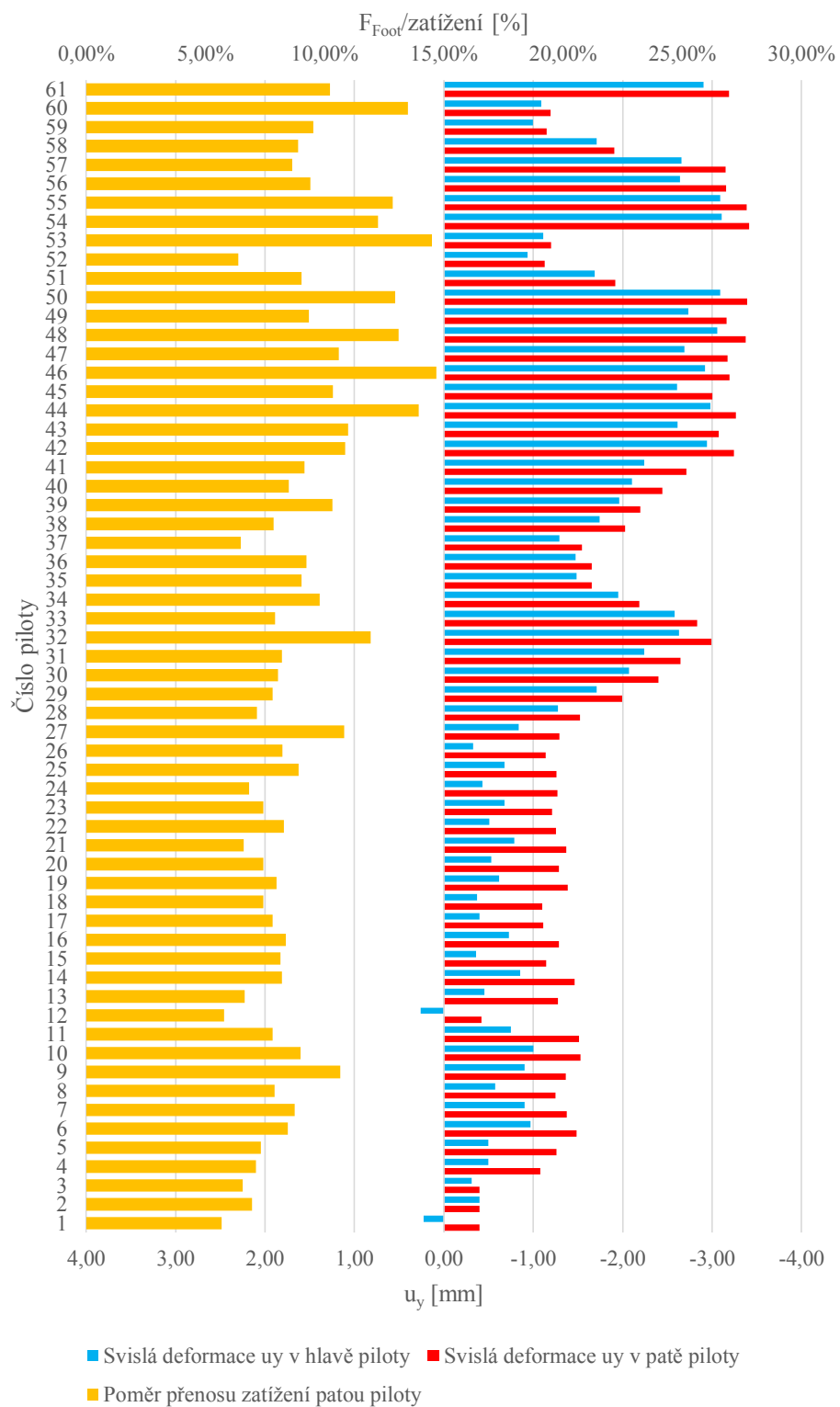


Obrázek č.20 - Svislé deformace u_y v podélném řezu základovou jámou

Pro ilustraci detailních dat byly vybrány výsledky piloty č. 56. Pilota 56 přenáší největší hodnotu zatížení ze všech pilot modelové analýzy (-699,72 kN). Pilota má jeden z nejnižších podílů mezi zatížením přenášeným patou piloty (9%, 65,73 kN) a jejím pláštěm (91%, -633,99 kN). Vodorovné deformace této piloty jsou max. -1,14 mm, svislé -3,15 mm. Průběhy vnitřních sil jsou v grafech uvedených níže, maximální hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 8.

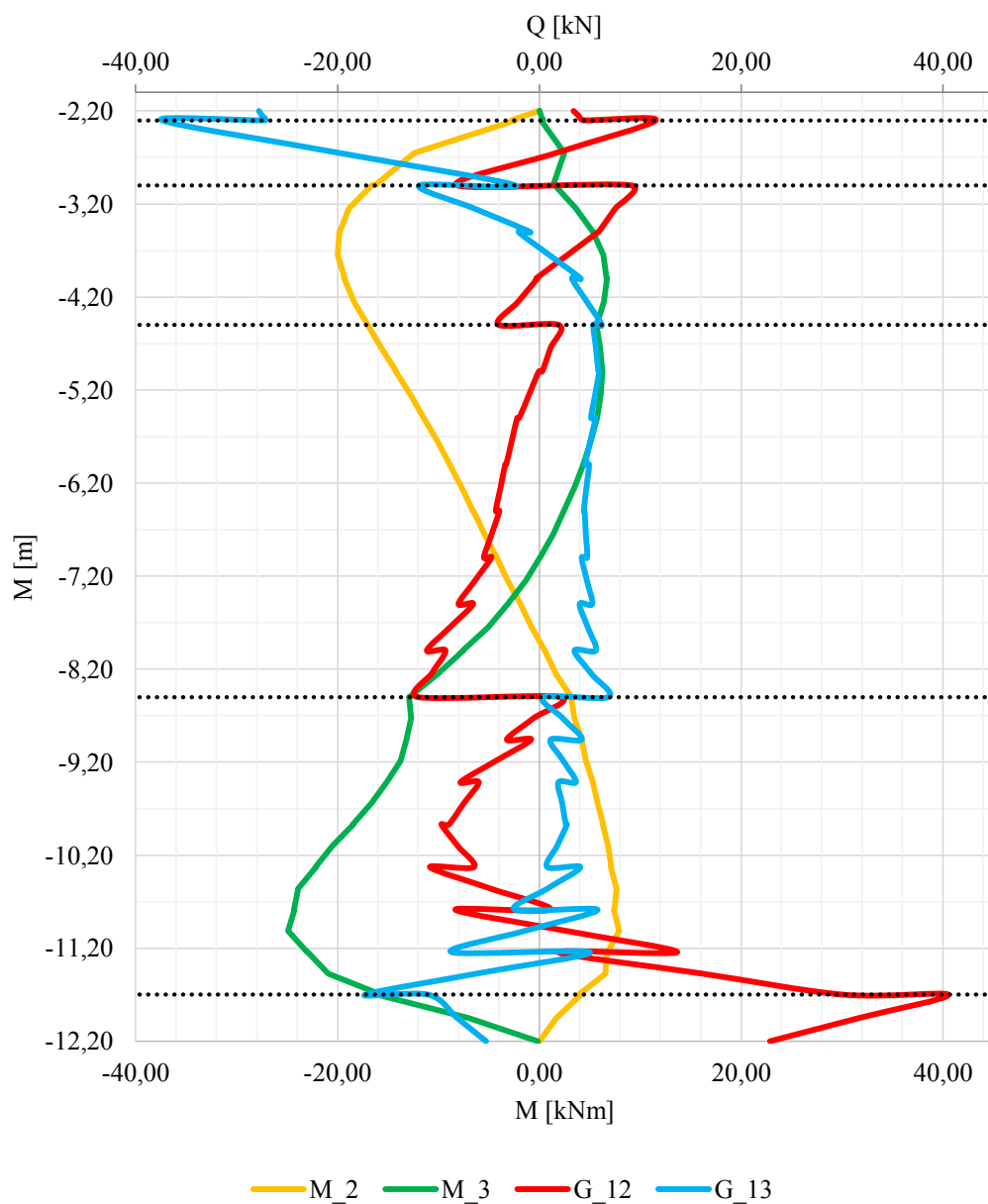
Veličina	Hodnota	Umístění
N_{max} [kN]	-642,22	-0,10 m od hlavy piloty
N_{min} [kN]	-75,26	Pata piloty
Q_{12max} [kN]	40,55	+ 0,50 m od paty piloty
Q_{12min} [kN]	-12,07	+ 3,70 m od paty piloty
Q_{13max} [kN]	6,86	+ 3,70 m od paty piloty
Q_{13min} [kN]	-37,40	-0,10 m od hlavy piloty
M_{2max} [kNm]	7,91	+1,20 m od paty piloty
M_{2min} [kNm]	-19,95	-1,52 m od hlavy piloty
M_{3max} [kNm]	6,71	-1,80 m od hlavy piloty
M_{3min} [kNm]	-24,90	+1,20 m od paty piloty
T_{skinmax} [kN/m]	0	Hlava piloty
T_{skinmax} [kN/m]	444,85	Pata piloty
T_{2max} [kN/m]	91,98	+ 3,70 od paty piloty
T_{2max} [kN/m]	-304,07	Pata piloty
T_{3max} [kN/m]	74,36	Pata piloty
T_{3max} [kN/m]	-39,02	+0,52 m od paty piloty

Tabulka č.8 - Maximální hodnoty vnitřních sil piloty č. 56

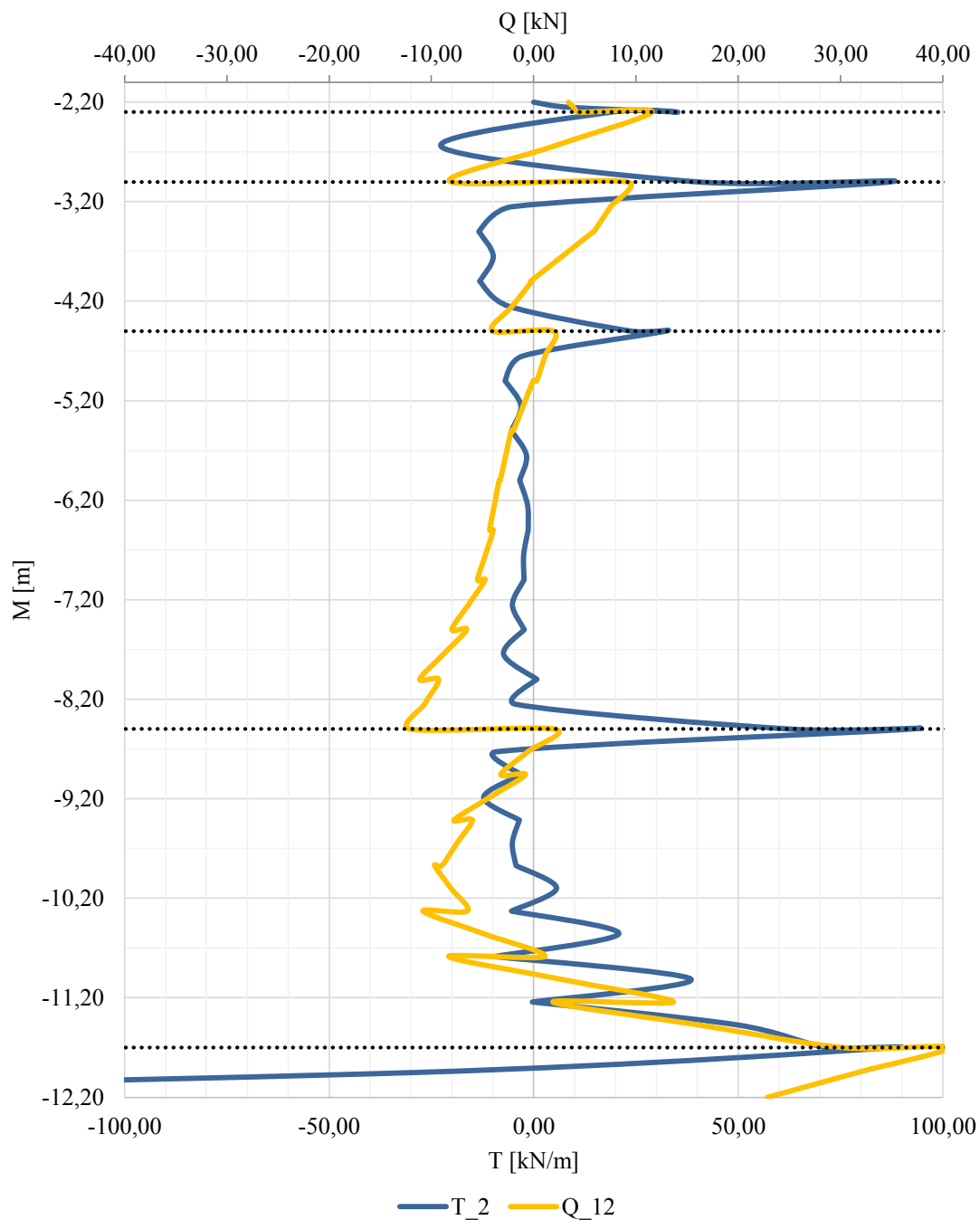


Graf č.7 - Výsledky vybraných pilot z modelového výpočtu

V grafu č. 8 lze pozorovat vztah změn posouvajících sil Q_{12} a Q_{13} v závislosti na změně geologických vrstev. Tyto změny ovlivňují také průběh ohybových momentů v obou směrech.

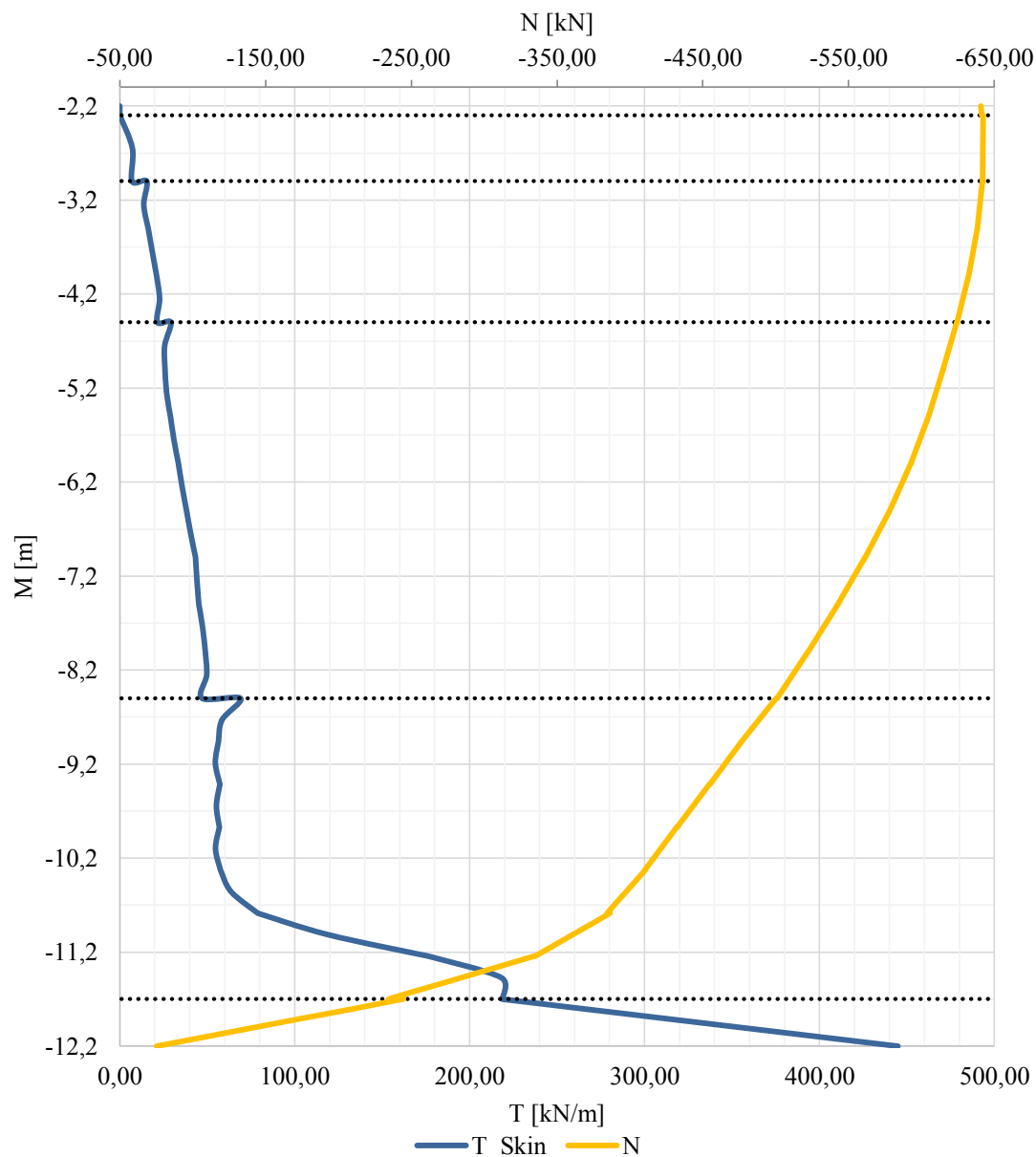


Graf č.8 - Vnitřní síly piloty 56 – typ CFA



Graf č.9 - Vodorovné posouvající síly a vodorovné tření piloty č. 56

Skokové posuny sil Q_{12} , Q_{13} (viz graf č. 9) mají za následek nárůsty vodorovných třecích napětí na plášti piloty T_2 a T_3 . Tyto síly jsou také částečně vyvolány vodorovnou silou vnesenou do systému. Tato síla se přenáší díky základové desce na všechny piloty.



Graf č.10 - Průběh N a T_{Skin} piloty 56 -typ CFA

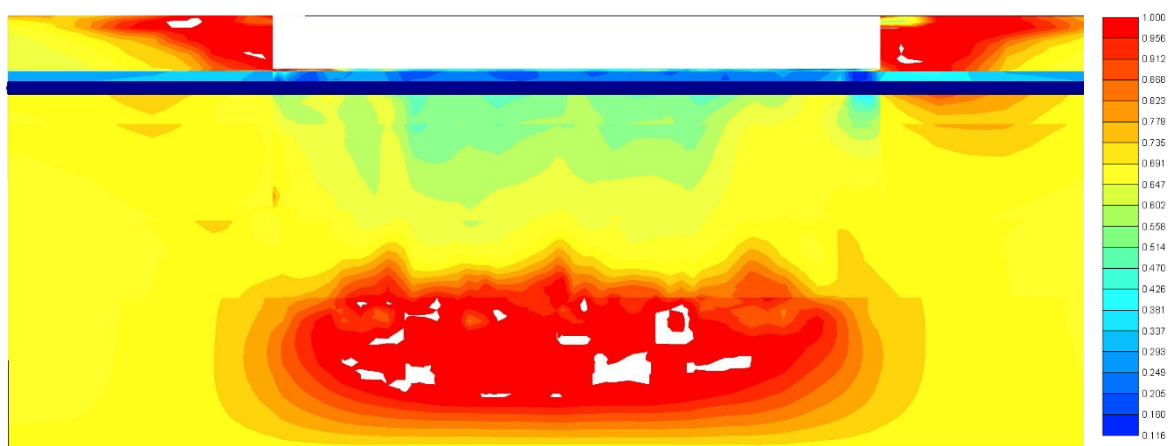
Dalším sledovaným vztahem byla závislost změny normálové síly N na průběhu plášťového tření T_{Skin} (viz graf č. 10). Na průběhu plášťového tření sledujeme skokové změny způsobené změnou geologie. Obecně lze říci, že normálová síla v pilotě je přenesena z větší části plášťovým třením, zbytek normálové síly je přenesen patou piloty.

Práce se zaměřuje pouze na posouzení sil v pilotách. Posouzení základové patky jako takové není součástí práce. Při posouzení tělesa piloty v prostém tlaku vychází hodnota maximálního napětí na 25 MPa. Této hodnoty nebylo v žádné pilotě dosaženo. Maximální hodnota napětí byla rovna 2,72 MPa.

Modelová analýza zcela zanedbává vliv proudění podzemní vody v rámci realizace i živostnosti stavby z důvodu zjednodušení modelové analýzy a chybějícího softwarového vybavení. Tento faktor byl zohledněn v použitých koeficientech hydraulické vodivosti, které byly zjišťovány pomocí modelové analýzy (viz [17]).

Při vyhodnocení výsledků z modelového výpočtu byla snaha definovat poměr sil mezi přenosem zatížení do zeminy pomocí pilot a základové patky. Tato úvaha bývá odbornou veřejností občas zmiňována v diskuzích a debatách. Uvažování skutečnosti, že i samotná základová patka přenáší část zatížení do podloží, by mohlo umožnit návrhy pilotového založení provádět s ohledem na větší úsporu zdrojů. Na obrázku č. 21 je patrné, že mezi částmi, které nejvíce mobilizovaly smyková napětí v zemině, patří prostor za pažicemi stěnami a oblast okolo pat pilot (červená barva znamená 100% mobilizaci smykových napětí).

Z dostupných zdrojů vyplývá, že při běžném sedání, které je u pilotového založení uvažováno, nedochází k plné aktivaci základové půdy a kontaktní napětí mezi základovou patkou a zeminou nedosahuje hodnot únosnosti. Únosnost základové spáry není zcela využita. Jako adekvátní poměr zatížení přenášený základovou deskou se uvádí deset až dvacet procent z celkového zatížení. [25]



Obrázek č.21 - Mobilizace smykových napětí

Z výsledků modelové analýzy vyplývá, že v tomto konkrétním případě by měla základová patka přenášet cca 11% z celkového zatížení (vč. vl. tíhy patky a pilot). Tento fakt teoreticky zvyšuje únosnost základu na vyšší hodnotu, než bylo zatím uvažováno, čímž snižuje využití současné základové konstrukce.

Před modelovým výpočtem proběhlo předběžné šetření, jehož záměrem bylo stanovit orientační využití únosnosti základové patky. Maximální únosnost pilot obou typů byla stanovena dle rovnice (1), pro typ pilot CFA na hodnotu 3140,88 kN a pro typ pilot FRANKI na hodnotu 5404,14 kN. Při celkovém počtu 34 ks CFA pilot a 27 ks FRANKI pilot se ideální únosnost rovná 252 701,7 kN, což odpovídá cca 12% zatížení dle stávajícího návrhu v případě uvažování vlastní tíhy pilot a základové patky.

Výše zjištěné skutečnosti byly předpokládány. Vstupní hodnoty jsou uvažovány jako normové bez jakéhokoli bezpečnostního koeficientu.

Součástí projektové dokumentace k projektu jsou také výsledky zatěžovacích zkoušek pilot. Ty uvádějí jako maximální zatížení pilot typu FRANKI hodnotu 1764 kN. V případě pilot CFA vyhodnocení zkoušek uvádí jako maximální zatížení hodnotu 2019,6 kN. [10]

Tyto hodnoty odpovídají přibližně 33% u piloty typu FRANKI a 64% u pilot typu CFA z únosnosti pilot stanovených na základě vyhodnocení zkoušek CPTU dle EN 1997-2 v této práci. Celkové zatížení je dle stávajícího návrhu v úrovni 27% z předpokládané celkové únosnosti pilot. Předběžné výpočty ukazují, že pouze teoretická maximální únosnost FRANKI pilot založená na polních zatěžovacích zkouškách bez uvažování dodatečné instalace CFA pilot by měla o cca 35% přesahovat zatížení dle stávajícího návrhu.

Všechny výše uvedené výsledky nezohledňují jakýmkoli způsobem chování zeminového prostředí vlivem změny vodního režimu v podloží. Výsledné procentuální využití maximální teoretické únosnosti pilotového základu je nutno brát s rezervou, která zahrnuje nepopsané skutečnosti a respekt k rozmanitosti přírody a jejího chování. Rozdíl mezi hodnotami uvažovanými v rámci modelového výpočtu a hodnotami ze zatěžovacích zkoušek je pravděpodobně zapříčiněn nutností stanovit charakteristiky zemin zpětně dle normy.

4 Variantní návrh základové patky, včetně modelové analýzy variantního návrhu

Cílem práce je také posouzení variantního návrhu základové patky. V rámci variantních návrhů byly zpracovány další dva modelové výpočty. Tyto variantní návrhy slouží k potvrzení vztahů uvedených v kapitolách výše.

4.1 Popis a vstupní data prvního variantního návrhu

První variantní návrh se zaměřil primárně na ověření maximální teoretické únosnosti pilot. Vstupními daty byla totožná geologie i geometrie výpočetního modelu. Svislé zatížení na základovou patku bylo zvýšeno na 900%. Hodnoty zatížení jsou uvedeny v tabulce č. 9. Výsledné zatížení by mělo být rovno cca 93% maximální odhadované únosnosti. Toto zatížení je zcela nereálné.

Předpokládaným problémem byla pevnost betonu v tlaku, která byla v uvažována 25 MPa. Předběžný výpočet tento problém vyvrátil. Maximální zatížení, které by měla uvažovaná skupina pilot přenést, je cca 400 700 kN.

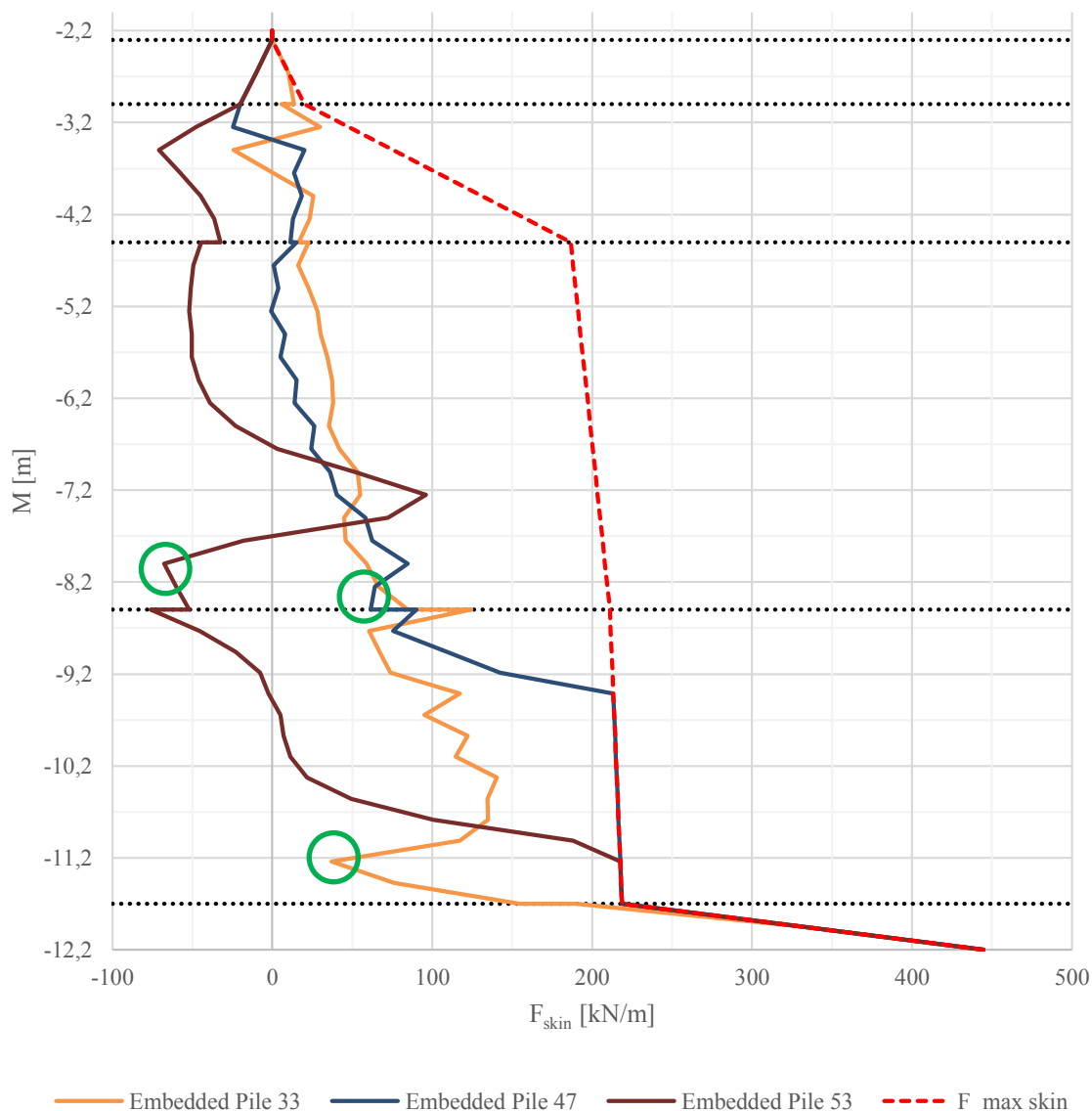
Bod	V [kN]	H [kN]
5.1	63 000	800
5.2	36 000	0
5.3	40 500	0
5.4	40 500	0
5.5	49 500	0
SUMA	229 500	800

Tabulka č.9 - Zatížení použití v prvním variantním návrhu

4.2 Výsledky prvního variantního návrhu

Výpočet nebyl dokončen řádně. Tento výsledek zapříčinil, že vyhodnocovaná data uvedená níže nejsou ze stavu dosažení plného zatížení, bylo dosaženo přibližně 30% zatížení. Výpočet byl ukončen předčasně z důvodu překročení únosnosti zeminového prostředí.

První variantní návrh nemohl z výše uvedených důvodů ověřit zjištěné vztahy v rámci posouzení stávajícího základu. Níže v grafu č. 11 jsou uvedeny křivky zobrazující průběh plášťového tření při ukončení výpočtu. Tento průběh lze brát v úvahu jen v částech do bodu lomu označeného zeleným kroužkem v grafu a to jen v omezené informativní míře.



Graf č.11 - Hodnoty tření na plášti - CFA piloty, první variantní návrh

Modelová analýza prvního variantního návrhu nepotvrdila maximální teoretickou únosnost pilot, tak jak byla stanovena v práci výše. Nedošlo také k potvrzení principu rozložení přenášení zatížení mezi patou piloty a jejím pláštěm v závislosti na svislé deformaci piloty.

4.1 Popis a vstupní data druhého variantního návrhu

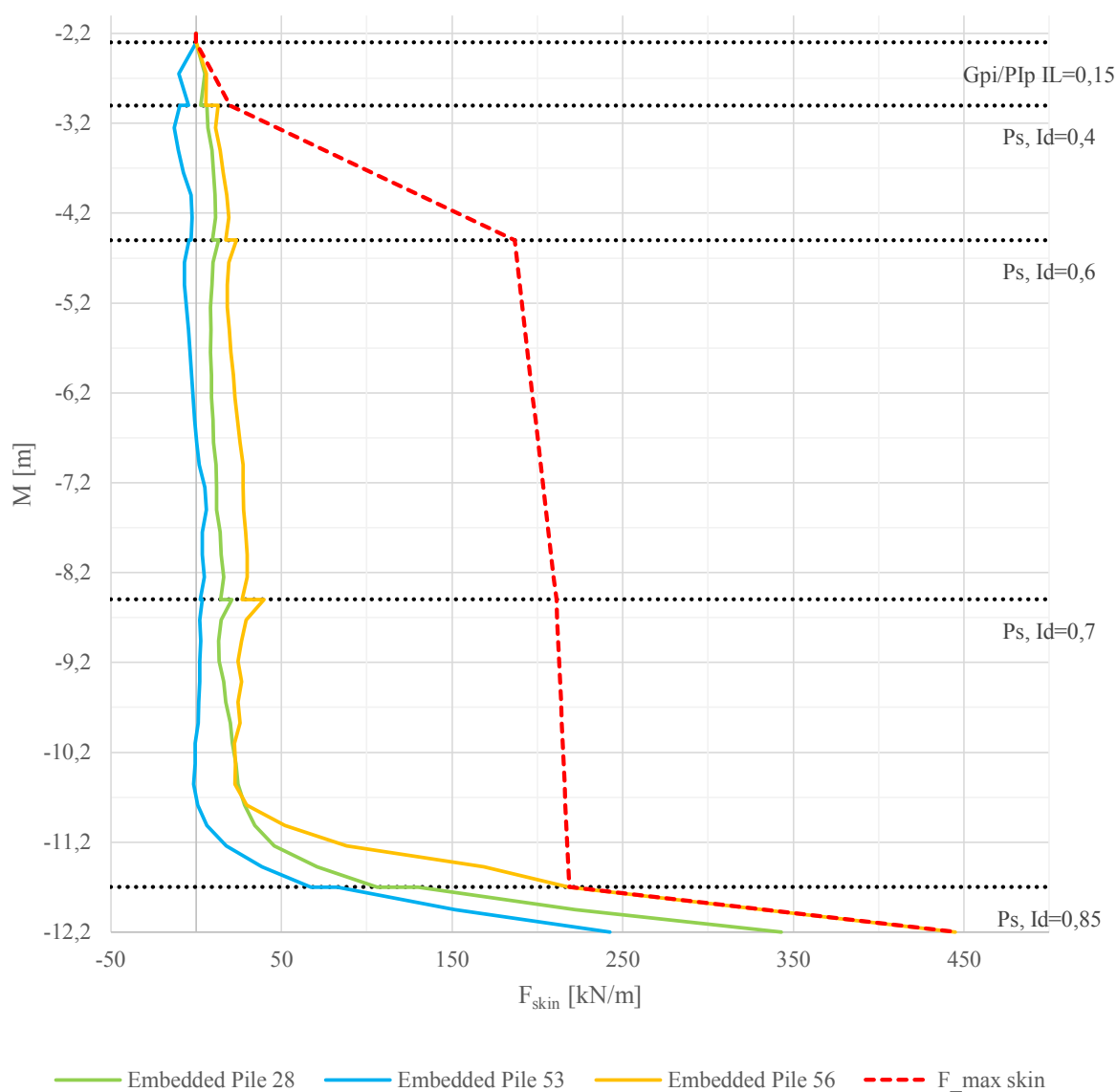
Druhý variantní návrh byl zaměřen na změnu geometrických vlastností CFA pilot. Při použití totožné geologie i geometrie byla provedena modelová analýza základové patky zatížené silami uvažovanými v projektu. Průměr CFA pilot byl snížen na 0,40 m.

4.2 Výsledky druhého variantního návrhu

Celý výpočet byl dokončen řádně. Lze konstatovat, že v rámci modelového výpočtu nebyla překročena únosnost pilot ani okolní zeminy. Pro ilustraci výsledků jsou uvedeny grafy č. 12 a 13, ve kterých jsou vykresleny průběhy vnitřních sil podobně jako u původního návrhu.

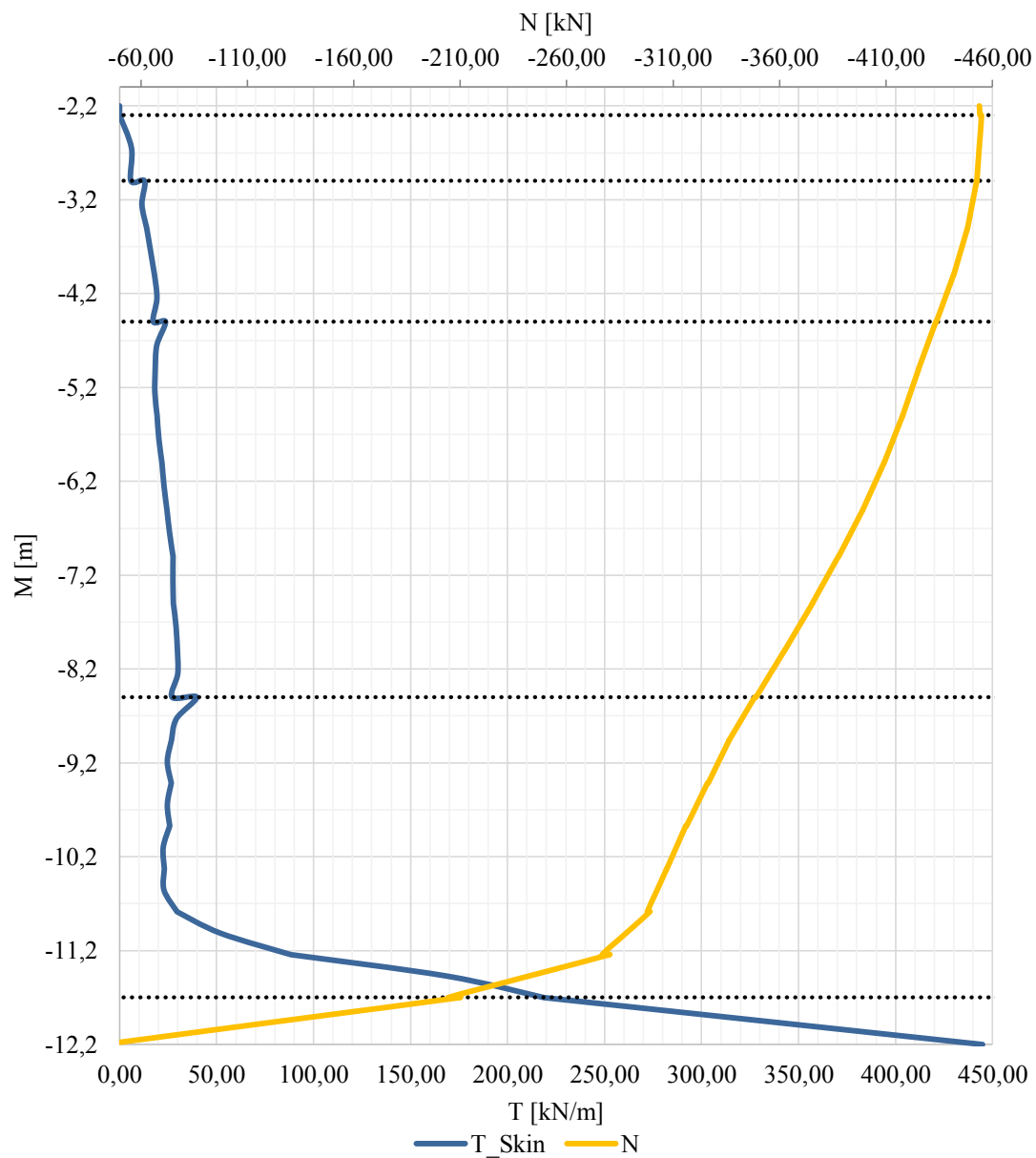
Modelová analýza druhého variantního návrhu potvrdila princip rozložení přenášení zatížení mezi patou piloty a jejím pláštěm v závislosti na svislé deformaci piloty. Z výsledků modelové analýzy dále vyplývá, že deska přenáší v druhém variantním návrhu až 16% z celkového zatížení, přičemž lze zaznamenat pokles celkových svislých deformací o cca 5%.

FRANKI piloty převzaly oproti původnímu řešení o cca 10% více z celkové únosnosti pilot. V původním řešení se FRANKI piloty podílely z 51% na celkové únosnosti pilot. Celková ideální únosnost druhého variantního návrhu odpovídá cca 15% zatížení dle stávajícího návrhu v případě uvažování vlastní tíhy pilot a základové patky.



Graf č.12 - Hodnoty tření na plášti - CFA piloty, druhý variantní návrh

Průběh plášťového tření u tří vybraných pilot je dle předpokladu a je analogický k původnímu návrhu.



Graf č.13 - Průběh N a T_Skin piloty 56 -typ CFA, druhý variantní návrh

Průběh normálové síly vykazuje ve své střední třetině mírně konkávní průběh, který může být zapříčiněn imperfekcí výpočtu. Tato imperfekce je také vidět na průběhu plášťového tření ve stejné oblasti.

5 Závěr

Diplomová práce se zaměřuje na posouzení způsobu založení mostních objektů na stavbě komunikace ve Varšavě. Základové konstrukce byly posouzeny modelovým výpočtem provedeným metodou konečných prvků. Stávající návrh základové patky mostního pilíře vyhověl dle všech požadavků. Variantní návrhy byly zpracovány pro ověření tezí a vztahů definovaných na základě rozboru dat z modelového výpočtu stávajícího návrhu. První variantní návrh neověřil uvažované vztahy z důvodu předčasného ukončení výpočtu. Náhradní výpočet nebyl prováděn, protože by neodpovídal cílům, na které se zaměřoval. Výsledky druhého variantního návrhu podpořily platnost vztahů vyhodnocených z posouzení stávajícího návrhu.

Při zpracovávání diplomové práce bylo uvažováno použití jiného softwarového řešení než Plaxis 3D Foundation. Z dostupných zdrojů můžeme uvést software GEO 5, což je soubor samostatných modulů pro řešení většiny geotechnických úloh. Konkrétně se jednalo např. o modul Piloty CPT pro vyhodnocení únosnosti pilot na základě dostupných CPTU zkoušek. Modul nebylo možné použít, protože výstupní data nebylo možné dále zpracovávat a interpretovat pro prostorové použití. Dalším uvažovaným modulem je Skupina pilot pro posouzení únosnosti celé základové konstrukce. Tento modul nebylo možno využít pro složitost základové konstrukce, z důvodu použití dvou rozdílných typů pilot. Posledním uvažovaným modulem ze souboru programů GEO 5 byl modul Terén, který slouží k vytvoření digitálního modelu terénu ze zadaných bodů a vrtů. Tento modul nebylo možné využít kvůli nekompatibilitě výstupů a nemožnosti importu dat do softwarového prostředí Plaxis 3D Foundation. [16]

V rámci širšího okolí předmětné lokality bylo provedeno několik geologických vrtů. Snahou bylo využít tyto data pro tvorbu komplexního prostorového geologického modelu. Tato snaha byla limitována tvorbou kvazihomogenních celků. Vrty obsahovaly rozdílné geologické vrstvy, které nebylo možno vzájemně spojit. Tvorba geologického modelu byla dále omezena neznalostí geometrických dat povrchu a starého říčního koryta, které most překonává.

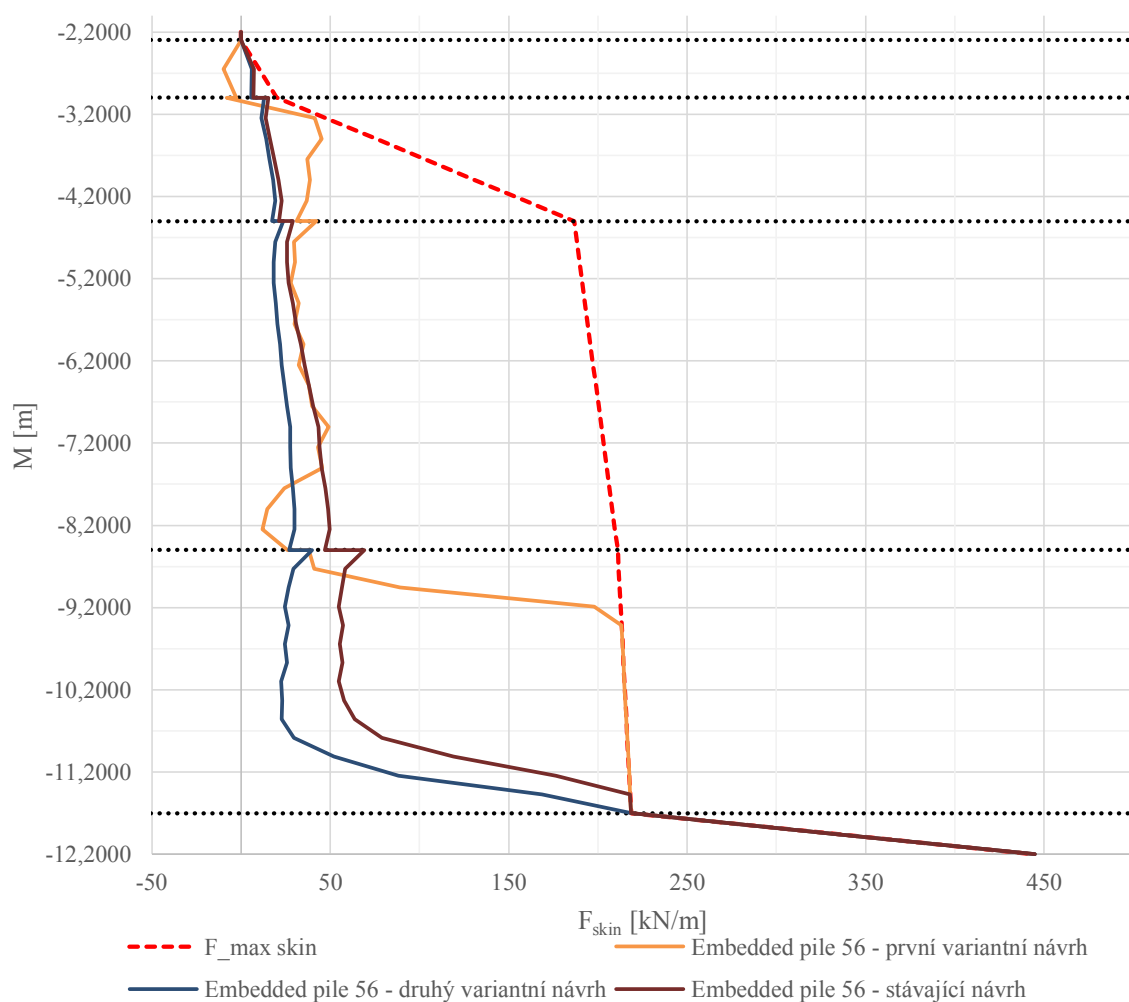
Podkladové materiály byly ve fázi realizační dokumentace projektu, a proto neobsahovaly podrobnější informace o způsobu a podkladech k návrhu založení mostního objektu. Vzhledem k faktu, že celá dodaná dokumentace je zpracována v polském jazyce byly při zpracování problematiky potíže s porozuměním projektu. Návrh založení mostního objektu je zpracován

dle polské normy, ve které není jednoduché se bez výkladu orientovat. Proto nebylo provedeno podrobnější posouzení únosnosti podle polské normy.

Při zpracovávání celé práce, především výsledků modelových analýz, se potvrzovala slova „otce mechaniky zemin“ napsaná v úvodu. Nelze zhodnotit, jestli je tento stav výsledkem pozitivním.

5.1 Porovnání výsledků

Modelová analýza původního a variantních návrhů poskytly dostatek dat pro porovnání výsledků. Při porovnání průběhů plášťového tření (viz graf č. 14) lze jednoznačně předpovědět další mobilizaci ve směru od paty piloty. Tuto skutečnost potvrzuje také průběh plášťového tření na pilotě 56 prvního variantního návrhu, ačkoliv byl výpočet ukončen předčasně.



Graf č.14 - Hodnoty tření na plášti – pilota 56, porovnání výsledků

5.2 Doporučení

Jedním z hlavních nedostatků současné podoby navrhování s posuzování pilotových základů je, jak je uvedeno výše, neuvažování spolupůsobení základové desky na přenosu zatížení do základové půdy. Nikdo si asi nedovede představit neuvažování tohoto přenosu v případě prosté základové patky nebo desky, avšak v případech pilotových základů nejsou tyto konstrukce vůbec uvažovány. Při současném trendu realizovat stavby s co největší efektivitou s důrazem na úspory zdrojů se v této oblasti otevírá možnost pro průzkum těchto vztahů s jejich následným uvedením do praxe. Je nutné zdůraznit, že tato problematika vyžaduje podrobné zkoumání za použití vhodných prostředků a metod.

Dalším nedostatkem současné podoby navrhování s posuzování pilotových základů může být neúplný systém vztahů mezi jednotlivými charakteristikami zemin a hornin. V práci je uveden např. problém s vyhodnocením koeficientů filtrace na základě indexu ulehlosti písčitých zemin. Tyto vztahy by mohly v budoucnosti být ověřovány nejen na základě velkého vzorku polních měření, ale také pomocí detailních modelů jednotlivých částic zeminy. Příkladem je použití metody oddělených elementů (Distinct element methods – DEM), která je vhodná pro modelování diskontinua.

V oblasti provádění staveb se setkáváme s důsledky znalostí širších vztahů vytvářených konstrukcí a prostředí, ve kterém tyto konstrukce působí, což může vést k neefektivnímu vedení stavby. Tento fakt je podporován stupněm dokumentace pro provádění stavby, která většinou neobsahuje žádné zdůvodnění návrhu daných konstrukcí. Jak je uvedeno výše, všechny aplikované teorie pro návrh založení mostního objektu mají své okrajové podmínky. Tyto podmínky jsou často neznámé při provádění stavebního celku a mohou tak snadno vést k provádění projektu sice se stejným výsledkem, především vizuálně, ale zcela nevhodným postupem. Tento problém může být řešen propsáním dat z návrhu konstrukcí do realizačního stupně dokumentace s ohledem na přehlednost. Na základě této provázanosti bychom mohli předem očekávat během realizace náročné podmínky, popř. konkrétní komplikace, během zakládání v písčitých zeminách s vlivem vody.

Příkladem může být zvyšování čerpaného objemu přítoků ze stavební jámy, což může vést ke ztrátě stability nejen budovaného základu, ale také celé stavební jámy kde hrozí riziko ohrožení lidského zdraví. Tuto skutečnost šlo zcela jistě předem ověřit např. pomocí čerpacích zkoušek.

Rád bych touto cestou vyjádřil své poděkování vedoucí mé diplomové práce doc. RNDr. Evě Hrubéšové, Ph.D. za cenné odborné rady, připomínky, poskytnuté materiály a podklady, také děkuji Ing. Janu Kabelkovi za poskytnuté materiály a praktické konzultace.

6 Seznam použité literatury

- [1] MASOPUST, Jan. *Navrhování základových a pažicích konstrukcí: příručka k ČSN EN 1997*. 1. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2012, 208 s. ISBN 978-80-87438-31-2.
- [2] CODUTO, Donald. *Geotechnical engineering*. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 1. edice. ISBN 0-13-576380-0.
- [3] MASOPUST, Jan. *Vrtané piloty*. 1. vyd. Praha: Čeněk a Ježek, 1994, 263 s. ISBN 80-238-2755-3.
- [4] ČSN EN 1997-1. *Eurokód 7: navrhování geotechnických konstrukcí: Část 1: Obecná pravidla*. Září 2006. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [5] ČSN EN 1997-2. *Eurokód 7: navrhování geotechnických konstrukcí: Část 2: Průzkum a zkoušení základové půdy*. Březen 2008. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [6] MASOPUST, Jan. *Speciální zakládání staveb*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004-2007, 2 sv. (141, 150 s.). ISBN 80-214-2770-1.
- [7] KANIA, Krzysztof a Edward ZABAWA. TRANSPROJEKT - WARSZAWA SP.ZO.O. *Opis techniczny: TOM III/15 Obiekt nr 9T, Wiadukty w ciągu Trasy AK*. Rewizja 01. Warszawa, 2013, 22 s.
- [8] *Časopis ZAKLÁDÁNÍ*. Praha: Zakládání staveb a.s., 2015, (12015).
- [9] Expressway S8 (Poland). *Wikipedia: The Free Encyclopedia* [online]. b.r., 17.9.2015 [cit. 2015-11-16]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Expressway_S8_\(Poland\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Expressway_S8_(Poland))
- [10] METROSTAV S.A. ODDZIAŁ W POLSCE. *Podkladové materiály k projektu*. b.r..

- [11] GŁOWACKI, Paweł. INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW, ZAKŁAD GEOTECHNIKI I FUNDAMENTOWANIA. *Sprawozdanie NR 10/SIT/TF/14 z badania ciągłości pali obiektów 9T i 29T*. Warszawa, 2014.
- [12] SMOLOVÁ, Irena. *Geologická stavba a geologický vývoj území Polska: Výukový materiál* [online]. Katedra geografie, Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci, b.r., 2015-11-16, : 36 [cit. 2015-11-16]. Dostupné z: http://geography.upol.cz/soubory/lide/smolova/RGPOL/RGPOL_Geologicka-stavba.pdf
- [13] DADLEZ, Ryszard. *Mapa geologiczna Polski bez utworów kenozoiku*. 2000. Warszawa: Wydawn. Kartograficzne Polskiej Agencji Ekologicznej S.A., 2000, 1 map. ISBN 838698645x.
- [14] *Centralna Baza Danych Geologicznych: Geoportal IKAR* [online]. b.r. [cit. 2015-11-16]. Dostupné z: <http://www2.pgi.gov.pl/pl/ikar>
- [15] HULLA, Jozef, Peter TURČEK, František BALIAK a František KLEPSATEL. *Predpoklady a skutočnosť v geotechnickom inžinierstve*. 1. vyd. Bratislava: Jaga group, 2002, 254 s. ISBN 8088905427.
- [16] FINE SPOL. S.R.O. *Užívateľská príručka pro Geotechnical software suite GEO5* [online]. Verze 19. b.r. [cit. 2015-10-18]. Dostupné z: <http://www.fine.cz/manualy/>
- [17] KABELKA, Ondřej. Modelová analýza změn hydrogeologických poměrů v okolí stavební jámy. In: *Sborník SVOČ 2015*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, 2015, s. 13.
- [18] SMOLTCZYK, Ulrich. *Geotechnical engineering handbook*. Berlin: Ernst, 2002, 3 v. ISBN 34330145153.
- [19] HULLA, Jozef. *Zakladanie stavieb*. 1. vyd. Bratislava: Jaga group, 1998, 332 s. ISBN 80-889-0505-2.
- [20] *Keller Holding GmbH* [online]. b.r. [cit. 2015-11-17]. Dostupné z: <http://www.kellerholding.com>

- [21] *Przebudowa drogi ekspresowej S8 odcinek w. Powązkowska - w. Marki (ul. Piłsudskiego) - II etap* [online]. b.r. [cit. 2015-11-16]. Dostupné z: <http://www.s8powazkowska-modlinska.pl/>
- [22] *Geoforum.com: The source of geo-information* [online]. b.r. [cit. 2015-11-17]. Dostupné z: <http://www.geoforum.com/>
- [23] *Zakládání staveb Brno 2015: 43. konference se zahraniční účastí*. Česká geotechnická společnost ČSSI. Praha, 2015. ISBN 978-80-87920-02-2.
- [24] *Plaxis 3D Foundation Reference Manual: Version 2* [online]. b.r. [cit. 2015-09-08].
- [25] KOZÁKOVÁ, Marcela. *Ověření spolupůsobení základové desky a piloty*. Brno, 2015. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav Geotechniky.

7 Seznam obrázků

Obrázek č.1 - Situace rychlostní silnice S-8 a detail silnice S-8 ve Varšavě [9]	12
Obrázek č.2 - Příčný řez mostní konstrukcí [10]	13
Obrázek č.3 - Protihlukový tunel [10].....	14
Obrázek č.4 - Fotografie stavební jámy [10].....	15
Obrázek č.5 - Zásyp starého říčního koryta řeky Visly [10]	16
Obrázek č.6 - Geologická mapa Polské republiky s vyznačením polohy Varšavy [13]	17
Obrázek č.7 - Výřez geologické mapy předmětné lokality [14]	17
Obrázek č.8 - Podélný řez mostní konstrukcí [10].....	20
Obrázek č.9 - Schéma instalace CFA pilot [20].....	21
Obrázek č.10 - Instalace CFA pilot [21]	22
Obrázek č.11 - Instalace FRANKI pilot [22]	23
Obrázek č.12 - Schéma instalace FRANKI pilot [22].....	24
Obrázek č.13 - Instalace Jet-Grouting [10]	26
Obrázek č.14 - Základová konstrukce v programovém rozhraní Plaxis 3D Foundation	27
Obrázek č.15 - Osově síly pilot [24]	29
Obrázek č.16 - Ohybové momenty pilot [24].....	29
Obrázek č.17 - Umístění sloupů v rámci základové patky [21]	33
Obrázek č.18 - Rozložení zatížení použité v modelovém výpočtu	34
Obrázek č.19 - Provázání pilot se základovou patkou [10].....	34
Obrázek č.20 - Svislé deformace u_y v podélném řezu základovou jámou	40
Obrázek č.21 - Mobilizace smykových napětí	46

8 Seznam tabulek

Tabulka č.1 - Geologický vrt GV 63 [10]	18
Tabulka č.2 - Překlad názvů zemin a jejich klasifikace v různých normách.....	19
Tabulka č.3 - Materiálové charakteristiky použité v modelovém výpočtu.....	28
Tabulka č.4 - Max. odpor v patě piloty dle EN 1997-2	30
Tabulka č.5 - Tření na plášti CFA piloty dle EN 1997-2.....	31
Tabulka č.6 - Tření na plášti FRANKI piloty dle EN 1997-2	31
Tabulka č.7 - Hodnoty zatížení stávajícího stavu	33
Tabulka č.8 - Maximální hodnoty vnitřních sil piloty č. 56	41
Tabulka č.9 - Zatížení použití v prvním variantním návrhu	48

10 Seznam grafů

Graf č.1 - Poměrné únosnosti jednotlivých vrstev	32
Graf č.2 - Rozložení pilot v modelovém výpočtu	35
Graf č.3 - Hodnoty tření na plášti - CFA piloty	36
Graf č.4 - Hodnoty tření na plášti - FRANKI piloty	37
Graf č.5 - Porovnání přenosu patou a pláštěm piloty CFA	38
Graf č.6 - Porovnání přenosu patou a pláštěm piloty FRANKI	39
Graf č.7 - Výsledky vybraných pilot z modelového výpočtu.....	42
Graf č.8 - Vnitřní síly piloty 56 – typ CFA	43
Graf č.9 - Vodorovné posouvající síly a vodorovné tření piloty č. 56	44
Graf č.10 - Průběh N a T _{Skin} piloty 56 -typ CFA	45
Graf č.11 - Hodnoty tření na plášti - CFA piloty, první variantní návrh	49
Graf č.12 - Hodnoty tření na plášti - CFA piloty, druhý variantní návrh.....	51
Graf č.13 - Průběh N a T _{Skin} piloty 56 -typ CFA, druhý variantní návrh	52
Graf č.14 - Hodnoty tření na plášti – pilota 56, porovnání výsledků	54

11 Seznam vzorců

(1) Maximální únosnost piloty [24]	28
(2) Stanovení maximálního napětí v patě pilot $p_{\max, \text{pata}}$ [5]	30
(3) Stanovení tření na plášti piloty $p_{\text{plášť}, i}$ [5]	30